



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

MASTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

MASTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

USO DE INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE VALORIZACIÓN DE MATERIAL BIOESTABILIZADO MEDIANTE LA PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTES.

Autora: D^a. Elena Antolín Gutiérrez
Tutora: D^a. Mónica Coca Sanz
Tutora: D^a. Susana Lucas Yagüe

Valladolid, septiembre, 2019



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

MASTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

MASTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

USO DE INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE VALORIZACIÓN DE MATERIAL BIOESTABILIZADO MEDIANTE LA PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTES.

Autora: D^a. Elena Antolín Gutiérrez
Tutora: D^a. Mónica Coca Sanz
Tutora: D^a. Susana Lucas Yagüe

Valladolid, septiembre, 2019

A mis padres.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a todas aquellas personas que han hecho posible la realización de este TFM:

A Esther del Amo Mateos, Marina Fernández Delgado y a mis tutoras, por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto contado con su ayuda y apoyo desinteresados.

A Mónica Coca Sanz, tutora del TFM, por el tiempo, el apoyo y la confianza depositada en mí, no solo durante la realización de este trabajo, sino a lo largo de estos dos últimos años.

Gracias a mi padre, por su apoyo incondicional durante toda mi etapa académica.

Gracias a mi madre, por sus consejos a lo largo de todos estos años.

Gracias a Carlos, por su cariño y comprensión.

Gracias a Celia M., por su apoyo durante todo el Máster.

ÍNDICE

1	RESUMEN.....	3
2	INTRODUCCIÓN.....	4
2.1	RESIDUOS DOMÉSTICOS.....	6
2.1.1	Producción y composición de los residuos domésticos.....	6
2.1.2	Situación de los residuos domésticos en España y CyL.....	8
2.2	GESTIÓN DE RESIDUOS DOMÉSTICOS.....	9
2.2.1	Recogida selectiva	9
2.2.2	Recogida no selectiva	10
2.2.3	Modelos de gestión.....	14
2.3	BIORRESIDUOS	15
2.4	TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS	16
2.4.1	Tratamiento termoquímico	16
2.4.2	Tratamiento biológico	19
2.5	MATERIAL BIOESTABILIZADO Y COMPOST	22
2.5.1	Material bioestabilizado (MB).....	24
2.5.2	Compost.....	27
2.6	ALTERNATIVAS DE VALORIZACIÓN DEL MATERIAL BIOESTABILIZADO	30
2.6.1	Enmienda de suelos	30
2.6.2	Fertilizantes orgánicos.....	31
2.6.3	Material de construcción	31
2.7	LEGISLACIÓN	32
2.7.1	Legislación Europea.....	32
2.7.2	Legislación Nacional.....	34
2.7.3	Legislación Autonómica (Castilla y León)	36
3	OBJETIVOS	38
4	BASES DE DISEÑO.....	39
4.1	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL BIOESTABILIZADO.....	39
4.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS FERTILIZANTES LÍQUIDOS.....	41
4.3	DESCRIPCIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE FLUJO	43
4.3.1	Descripción del diagrama de flujo: extracción con disolución de KOH	43
4.3.2	Descripción del diagrama de flujo: extracción con agua.....	45

5	ANÁLISIS AMBIENTAL, ECONÓMICO Y SOCIAL DE LAS ALTERNATIVAS DE EXTRACCIÓN	47
5.1	EXTRACCIÓN CON DISOLUCIÓN DE KOH	47
5.1.1	Indicadores Ambientales.....	47
5.1.2	Indicadores Económicos	55
5.1.3	Indicadores Sociales	62
5.2	EXTRACCIÓN CON AGUA	64
5.2.1	Indicadores Ambientales.....	64
5.2.2	Indicadores Económicos	70
5.2.3	Indicadores Sociales	75
5.3	COMPARATIVA DE LAS TECNOLOGÍAS DE EXTRACCIÓN	76
5.3.1	Indicadores Ambientales.....	76
5.3.2	Indicadores Económicos	82
6	CONCLUSIONES	85
7	BIBLIOGRAFÍA	88
	ANEXOS.....	92
	ANEXO I. Reglamento UE 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE. Anexo I.....	92
	ANEXO II: Resumen del dimensionamiento de los equipos.....	95
	ANEXO III. Tabla de corrientes de los procesos.....	98
	ANEXO IV. Diagrama de flujo: extracción con disolución de KOH.	99
	ANEXO V. Diagrama de flujo: extracción con agua.	100

1 RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Máster se enmarca dentro del proyecto VALORCOMP “Valorización de compost y otros desechos procedentes de la fracción orgánica de los residuos municipales” financiado por el Programa de Cooperación INTERREG V-A España-Portugal (POCTEP) y FEDER (Proyecto 0119_VALORCOMP_2_P).

El proyecto VALORCOMP está encaminado al desarrollo de tecnologías viables para la recuperación de nutrientes de interés agronómico a partir de los residuos municipales que se tratan en plantas de tratamiento mecánico y biológico. Por lo tanto, se trata de desarrollar nuevos fertilizantes que cumplan la reglamentación vigente.

Para ello se ha planteado la recuperación de nutrientes a partir de material bioestabilizado para la obtención de fertilizantes que cumplan la legislación en vigor aplicando para ello métodos de extracción con disolución de KOH y agua. El TFM pretende comparar ambas alternativas desde el punto de vista económico y ambiental, aplicando para ello las métricas de sostenibilidad publicadas por el ICHEME.

En el primer caso, solamente es necesario llevar a cabo una etapa de extracción alcalina para obtener un líquido que cumpla con la legislación europea. Sin embargo, cuando se utiliza agua como disolvente, el extracto no alcanza las concentraciones mínimas de nutrientes exigidas para ser considerado fertilizante líquido y para ello es necesario realizar una etapa de concentración posterior mediante evaporación a vacío.

Desde el punto de vista ambiental se observa que el proceso de extracción con agua requiere una cantidad de agua muy superior al proceso de extracción con disolución de KOH. Del mismo modo, la energía utilizada por kg de fertilizante producido en el proceso de extracción con agua es mayor.

En cuanto al uso de materias primas, cabe destacar que el proceso de extracción con disolución de KOH se requiere el uso de materias primas contaminantes desde el punto de vista de la salud, seguridad y medio ambiente.

Desde el punto de vista económico los resultados indican que los costes de equipos, materias primas, inversión y producción anual son superiores en el proceso de extracción con disolución KOH. Sin embargo, el precio de producción de fertilizante es menor.

La cantidad de fertilizante producida en el proceso de extracción con disolución de KOH es de 421,95 kg/h; mientras que en el caso de extracción con agua es de 39,38 kg/h.

PALABRAS CLAVE: métricas de sostenibilidad, ICHEME, fertilizantes, material bioestabilizado, valorización.

2 INTRODUCCIÓN

Existen diferentes aspectos (económicos, sociales y culturales) que influyen y acentúan la creciente y continua generación de residuos en la actualidad. El ritmo acelerado de vida que llevan las personas hace que la tendencia predominante sea el modelo lineal “producir, consumir y tirar”.

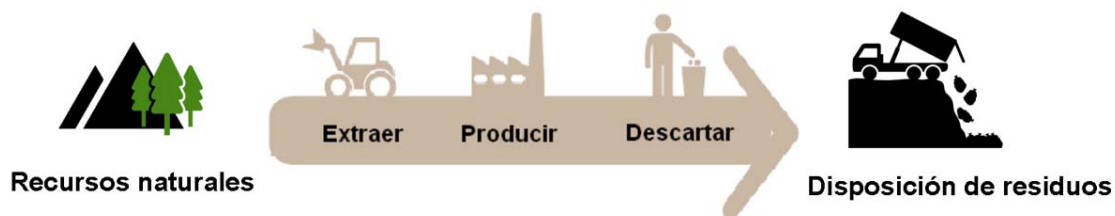


Figura 1. Modelo de consumo basado en “producir, consumir y tirar”. Fuente: UNEP, 2017.

Cada año se producen en Europa más de 2.500 millones de toneladas de residuos (Eurostat, 2014), alrededor de 5 toneladas por habitante. En España la situación es algo más positiva que la media europea pero no lo suficiente, produciéndose alrededor de 110 millones de toneladas, lo que corresponde aproximadamente en torno a 2,3 toneladas por habitante.

Dado que la situación es alarmante, surge en el año 2008 una Directiva Marco de Residuos a nivel europeo (Directiva 2008/98/CE¹), que plantea un nuevo modelo de crecimiento basado en el uso eficiente de los recursos proponiendo una serie de objetivos a cumplir:

- 50% de los residuos municipales sean reciclados o reutilizados en el año 2020.
- 65% de los residuos municipales sean reciclados o reutilizados en el año 2035.
- No depositar en vertederos más del 10% de los residuos en el año 2035.

Hasta ahora, se ha percibido los residuos desde el punto de vista negativo (olores, suciedad, enfermedades, etc.). Sin embargo, la tendencia actual es considerar los residuos una “oportunidad”; de esa idea surge lo que hoy se conoce como “economía circular”, tender al “residuo cero”.

Tal y como se muestra en la Figura 2, la economía circular es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad, y cuyo objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos (agua, energía, etc.) se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible, y que se reduzca al mínimo la generación de residuos. Se trata de implementar una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de «cerrar el ciclo de vida» de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía (Fundación para la Economía circular).

Los principios en los que se basa la economía circular son los siguientes:

- Preservar y mejorar el capital natural.
- Optimizar el rendimiento de los recursos (circulación).
- Eficiencia: minimizar y externalidades negativas.

¹ La Directiva 2008/98/CE ha sido modificada recientemente por la Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva sobre los Residuos.



Figura 2. Modelo de consumo basado en "economía circular". Fuente: European Parliament; UNEP, 2017.

Un enfoque preventivo es clave para maximizar la recirculación de productos y materiales. La Figura 3 muestra el cierre de ciclo en la gestión de residuos. Para lograr los objetivos de la economía circular el diseño juega un papel fundamental en la configuración de componentes y productos diseñados para ser fácilmente ensamblables, actualizables, reparables, reutilizables, separables y reciclables.

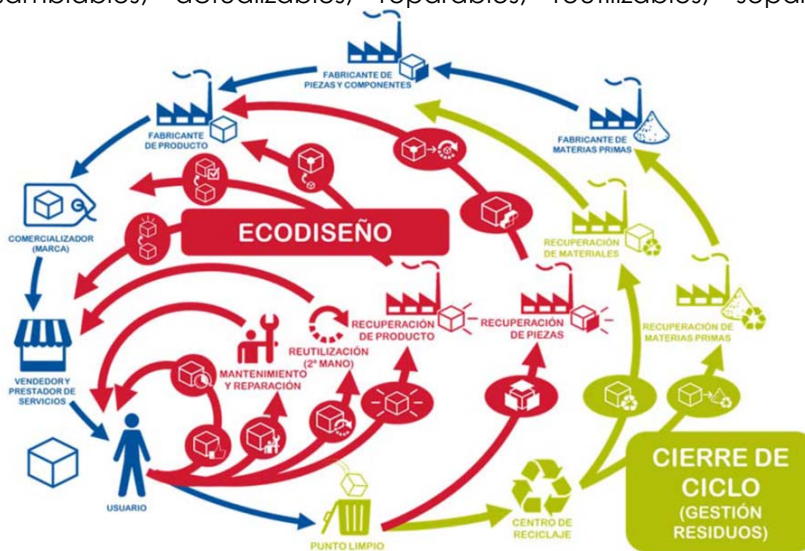


Figura 3. Economía circular y gestión de residuos. Fuente: IHOBE/Basque ecodesign centre; UNEP, 2017.

Un sistema avanzado de gestión de residuos se convierte en un reductor neto de emisiones de gases de efecto invernadero.

Por lo tanto, el camino a seguir es, tal y como se indica en la Figura 4, tener los residuos bajo control y pasar de una economía lineal a una economía circular.



Figura 4. El camino a seguir en la economía circular. Fuente: UNEP Global Waste Management Outlook (2015); UNEP, 2017.

2.1 RESIDUOS DOMÉSTICOS

La Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y Suelos contaminados, establece las siguientes definiciones:

Residuo: "cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar." Artículo 3. Ley 22/2011.

Residuo doméstico: "residuos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. Se consideran también residuos domésticos los similares a los anteriores generados en servicios e industrias. Se incluyen también en esta categoría los residuos que se generan en los hogares de aparatos eléctricos y electrónicos, ropa, pilas, acumuladores, muebles y enseres, así como los residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria. Tendrán la consideración de residuos domésticos los residuos procedentes de limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, los animales domésticos muertos y los vehículos abandonados." Artículo 3. Ley 22/2011.

Biorresiduo: "residuo biodegradable de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de venta al por menor; así como, residuos comparables procedentes de plantas de procesado de alimentos". Artículo 3. Ley 22/2011.

2.1.1 Producción y composición de los residuos domésticos

La producción y composición de los residuos domésticos depende de numerosos factores: nivel socioeconómico del país, tamaño de la población, desempleo, incorporación de la mujer al mundo laboral, época del año, etc.

A continuación, se compara la evolución de generación de residuos por habitante y año en España con la media europea (EU-28). Tal y como se puede apreciar en la Tabla 1 y Figura 5, a finales del siglo XX y comienzos del siglo XXI, España se encontraba por encima de la media europea. En el año 2011, sumergidos en plena crisis y con una mejor gestión de residuos, España disminuye este dato colocándose por debajo de la media europea. Dato que a día de hoy se mantiene.

Tabla 1. Residuos municipales generados, en años seleccionados, 1995-2017 (kg per cápita). Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Eurostat.

	1995	2000	2005	2011	2017
EU-28	470	521	515	497	486
España	505	653	588	485	462

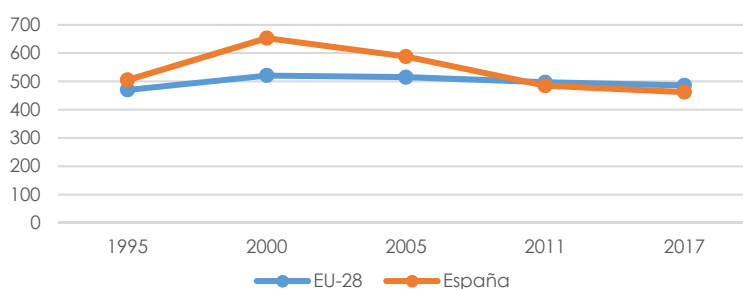


Figura 5. Residuos municipales generados, en años seleccionados, 1995-2017 (kg per cápita). Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Eurostat.

En la Tabla 2 se muestra el tratamiento que han recibido los residuos municipales entre los años 1995-2017 (UE-28). Como se puede apreciar se ha reducido considerablemente la deposición de los mismos en vertedero y se apuesta más por métodos como la incineración, el reciclado y el compostaje. Como puede apreciarse, el porcentaje de residuos dispuesto en vertederos se ha reducido del 64,2% en 1995 hasta el 23,3% en 2017.

Tabla 2. Tratamiento de residuos municipales, EU-28, 1995-2017 (kg per cápita).
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Eurostat.

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Vertedero	302	295	298	289	287	287	277	268	254	239	223	220
Incineración	67	67	72	73	74	79	81	84	84	90	96	104
M. reciclado	52	58	66	72	82	83	87	95	97	99	105	109
Compostaje	29	33	36	37	39	48	50	53	53	57	58	61
Otros	20	29	24	23	26	24	24	25	25	27	33	27
Generación	470	482	496	494	508	521	519	525	513	512	515	521

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Vertedero	214	202	194	185	171	156	145	134	125	117	113
Incineración	105	108	110	114	119	118	122	126	128	134	137
M. Reciclado	119	121	124	126	128	130	128	133	140	143	144
Compostaje	64	69	68	67	67	70	72	74	75	81	81
Otros	21	20	15	12	12	12	12	11	12	11	11
Generación	523	520	511	504	497	486	479	478	480	486	486

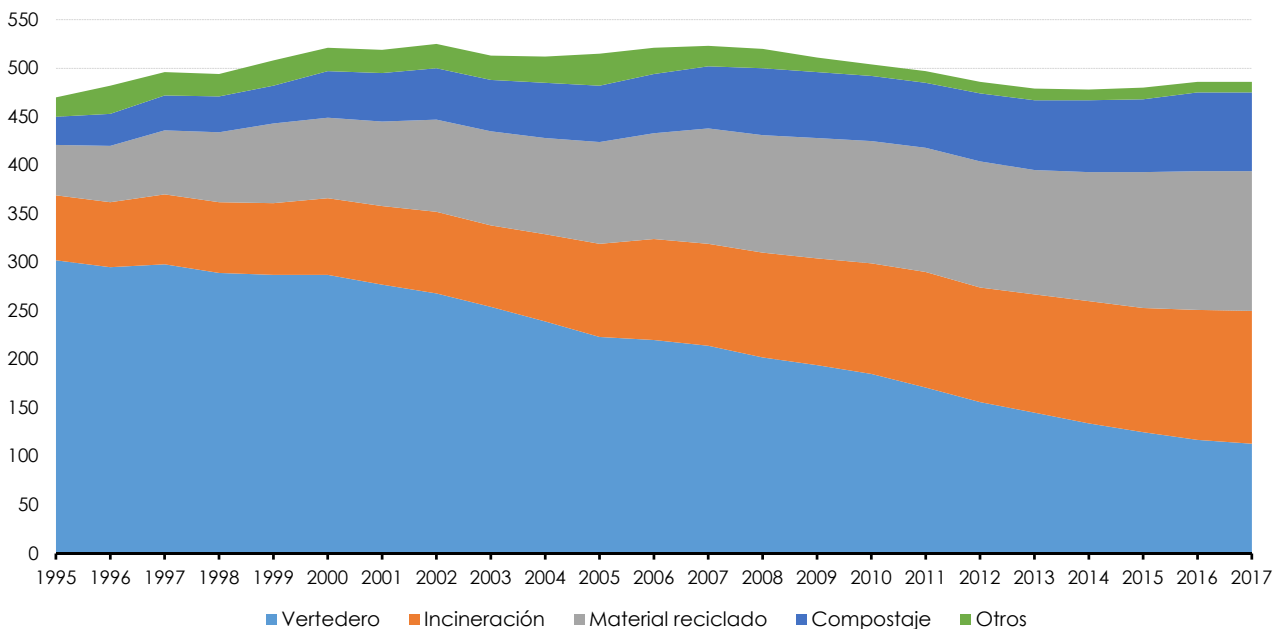


Figura 6. Tratamiento de residuos municipales, EU-28, 1995-2017 (kg per cápita).
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Eurostat.

2.1.2 Situación de los residuos domésticos en España y CyL

La composición promedio por tipo de fracción de los residuos de competencia municipal en España y Castilla y León, se muestra en las Tablas 3 y 4 y Figuras 7 y 8:

Tabla 3. Composición media de los residuos de competencia municipal España (PEMAR, 2015).

TIPO DE FRACCIÓN	%
Materia orgánica	42
Papel y cartón	15
Plásticos	9
Vidrio	8
Otros	8
Humedad y restos de alimentos	7
Textil	5
Metales	3
Madera	2
Bricks	1

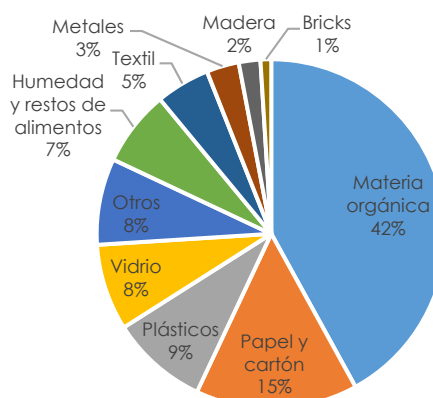


Figura 7. Composición media de los residuos de competencia municipal, España. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de PEMAR, 2015.

Tabla 4. Composición media de los residuos de competencia municipal, CyL (PIRCyL, 2014).

TIPO DE FRACCIÓN	%
Materia orgánica	37
Papel y cartón	21
Plásticos	16
Vidrio	9
Metales	6
Madera	1
Textil	5
Varios	5

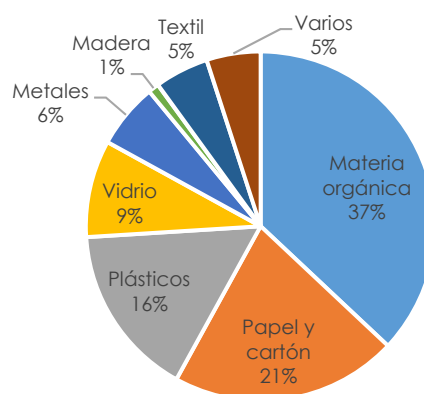


Figura 8. Composición media de los residuos de competencia municipal, CyL. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de PIRCyL, 2014.

La separación de los distintos tipos de fracciones en origen es relativamente reciente. En España, hasta la puesta en vigor de la Ley 11/1997 de envases y residuos de envases, únicamente se separaban para su reciclado los residuos procedentes de papel – cartón y de vidrio, eliminándose el resto de materiales en una bolsa de “todo en uno”. Los residuos de esta bolsa se eliminaban directamente en vertedero sin recuperación de materiales (Caballero Álvarez et al., 2015).

Actualmente, en la mayoría de los hogares españoles, la conocida como “bolsa de basura” se subdivide en diferentes “bolsas de basura” con el objetivo de realizar una buena separación en origen que permita realizar una recogida selectiva de nuestros residuos con el fin de recuperarlos y reciclarlos.

2.2 GESTIÓN DE RESIDUOS DOMÉSTICOS

Los sistemas de recogida son el conjunto de medios que facilitan la recogida de los residuos de competencia municipal, desde que se producen hasta la última fase de su tratamiento (valorización o eliminación). Se conforman por elementos como el tipo de contenedor o sistema de aportación utilizado y su ubicación, los vehículos recolectores que realizan el servicio y su frecuencia establecida de paso y, finalmente, los gestores (públicos, privados, mixtos, etc.). La configuración de los sistemas de recogida está vinculada al modelo de separación escogido (MITECO).

La gestión de los residuos consta de tres etapas:

- 1) Depósito y recogida (selectiva o no selectiva)
- 2) Transporte
- 3) Tratamiento

2.2.1 Recogida selectiva

Según la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, en el apartado de definiciones se puede encontrar lo siguiente:

Recogida separada: "la recogida en la que un flujo de residuos se mantiene por separado, según su tipo y naturaleza, para facilitar un tratamiento específico". Artículo 3. Ley 22/2011.

Por lo tanto, la recogida selectiva es la separación en origen, de forma consecuyente y voluntaria de las diversas fracciones que componen los residuos urbanos, en diferentes contenedores, para su posterior reciclado y recuperación.

En los residuos domésticos se pueden encontrar las siguientes fracciones:

				
Biorresiduos	Envases ligeros	Papel-cartón	Vidrio	Aparatos eléctricos y electrónicos
				
Pilas y baterías	Textil y calzado	Medicamentos	Aceites de cocina	Otros (fracción resto)

Figura 9. Clasificación de los residuos. Fuente: elaboración propia.

Siendo su forma adecuada de gestión la deposición de los mismos en los contenedores indicados en la Figura 10.

				
Biorresiduos	Envases ligeros	Papel-cartón	Vidrio	Aparatos eléctricos y electrónicos
				
Pilas y baterías	Textil y calzado	Medicamentos	Aceites de cocina	Otros (fracción resto)

Figura 10. Gestión de los residuos. Fuente: elaboración propia.

- Biorresiduos: son los residuos orgánicos biodegradables de origen vegetal y/o animal, susceptibles de degradarse biológicamente generados en el ámbito domiciliario y comercial (siempre que estos últimos sean similares a los primeros).
- Envases ligeros: son aquellos envases que como característica común tienen una baja relación peso/volumen. Está fundamentalmente constituida por botellas y botes de plástico, plástico film, latas y tetra brik, cartón para bebidas u otros envases mixtos.
- Papel y cartón: están fabricados principalmente a partir de fibra de celulosa virgen obtenida de especies vegetales o recuperada a partir de papel y cartón usados.
- Vidrio: se utiliza en referencia a los vidrios de los silicatos. El vidrio es un material inorgánico duro, frágil, transparente y amorfo que se usa para hacer ventanas, lunas, lentes, botellas y envases y una gran variedad de productos. Hay que tener en cuenta que en esta categoría no se incluye la cristalería (copas, jarras, etc.) por tener una composición diferente al vidrio, ya que el cristal contiene óxido de plomo y no se puede fundir en los mismos hornos destinados al vidrio.
- Aparatos eléctricos o electrónicos: entran de esta categoría los teléfonos móviles, televisores, ordenadores y electrodomésticos, entre otros.
- Pilas y baterías: se utilizan en transistores, juguetes, linternas, relojes, calculadoras, cámaras fotográficas, teléfonos móviles, etc. Al contener algunos metales pesados (mercurio, cadmio y/o plomo) se consideran residuos peligrosos y están sujetos a una recogida y tratamiento específicos.
- Textil y calzado: se trata de ropa de vestir, calzado, textil del hogar y otros productos textiles.
- Medicamentos: los residuos de medicamentos de procedencia doméstica son los medicamentos sobrantes o caducados y sus envases, vacíos o no, que se generan en los domicilios de particulares.
- Aceites de cocina: son grasas de origen animal o vegetal que, utilizados en el cocinado de alimentos en los ámbitos doméstico y análogos, su poseedor desecha o tiene la intención o la obligación de desechar.

2.2.2 Recogida no selectiva

La recogida no selectiva es la recogida de residuos mezclados, sin separación de ningún tipo en origen.

- Otros (fracción resto): es la fracción de los residuos de origen doméstico que se obtiene una vez efectuada la recogida separada. Los materiales que debe contener la fracción resto son los siguientes: textil sanitario (pañales, compresas y tampones, bastoncillos para los oídos, discos mamarios, toallitas húmedas, hilo dental, pequeños residuos de curas domésticas (tiritas, esparadrapo, vendas, gasas, algodón, etc.); otros productos de aseo (maquinillas de afeitar, cepillo de dientes, limas, preservativos, etc.); residuos de la limpieza doméstica (polvo de barrer y bolsas de aspiradora); platos, tazas y otros elementos de cerámica;

colillas y ceniza de cigarrillos; ceniza de chimeneas o estufas; fotografías, tarjetas de crédito o similares; y en general, todos aquellos residuos que no estén sujetos a recogidas separadas por parte de los entes locales.

Esta fracción se destina a instalaciones de tratamiento de resto, con procesos de tratamiento mecánico-biológico (TMB), a instalaciones de incineración o valorización energética, o bien, se deposita en vertedero.

En las Tablas 5 y 6 se resumen los tratamientos y destino final de los residuos, así como sus instalaciones de tratamiento, tanto para recogida selectiva como no selectiva.

Tabla 5. Tratamientos y destino final de los residuos (recogida selectiva y no selectiva).
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de MITECO.

FRACCIÓN	TRATAMIENTOS
Fracción orgánica	- Instalación de compostaje - Instalación de biometanización
Fracción resto	- Instalación de selección y clasificación - Instalación de tratamiento mecánico-biológico -Triaje+bioestabilización -Triaje +biometanización+bioestabilización - Incineradora (valorización energética o eliminación) - Depósito controlado con recuperación energética - Depósito controlado sin recuperación energética
Envases ligeros	Instalación de selección y clasificación de envases
Vidrio	Instalación de separación y preparación de vidrio
Papel y cartón	Instalación de separación y preparación de papel y cartón
Voluminosos	Instalación de selección y tratamiento de voluminosos
Aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)	Instalación de tratamiento de RAEE
Textiles	Instalación de separación y preparación de textiles
Peligrosos	Instalación de tratamiento de peligrosos
Tierras y escombros	Instalación de reciclaje de tierras y escombros

Tabla 6. Instalaciones de tratamiento de recogida selectiva y no selectiva (2014).
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de MITECO.

RESIDUOS DE COMPETENCIA MUNICIPAL TRATADOS SEGÚN TIPO DE INSTALACIÓN		
Instalaciones de tratamiento de residuos	Nº	t/año
Instalaciones de clasificación de envases	92	565.736
Instalaciones de triaje	6	1.037.233
Instalaciones de compostaje de fracción orgánica recogida separadamente	40	431.421
Instalaciones de triaje y compostaje	68	7.567.031
Instalaciones de triaje, biometanización y compostaje de fracción orgánica recogida separadamente	5	244.617
Instalaciones de triaje, biometanización y compostaje	22	313.667
Instalaciones de incineración	10	1.855.398
Vertederos	130	11.963.503

Como se muestra en la Tabla 6, casi la mitad (49,9%) de las toneladas anuales de residuos producidos en España, tanto de recogida selectiva como no selectiva, terminan en vertedero. El siguiente tipo de instalación más empleada, con un 31,6%, corresponde a instalaciones de triaje y compostaje. Muy por debajo de este valor, con un 7,7% se encuentran las instalaciones de incineración.

Hay que tener en cuenta que las cantidades de residuos de entrada a las instalaciones de incineración y vertido incluyen los rechazos del resto de las instalaciones.

A continuación, en la Tabla 7 y la Figura 11, se muestran los datos de recogida selectiva y no selectiva en España, en el año 2014 (últimos datos obtenidos en MITECO).

Tabla 7. Cantidad de residuos urbanos recogidos según modalidad, 2014.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de MITECO.

MODALIDAD DE RECOGIDA		RECOGIDA (t/a)	%
RECOGIDA NO SELECTIVA			
Residuos mezclados	Mezclas de residuos municipales	16.886.941	85
RECOGIDA SELECTIVA			
Residuos recogidos separadamente	Papel y cartón	976.896	5
	Envases de papel y cartón		
	Vidrio	9.845	0
	Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes	539.685	3
	Residuos biodegradables de parques y jardines	242.275	1
	Envases mezclados	565.736	3
	Envases de vidrio	724.019	4
ESPAÑA		19.945.397	100

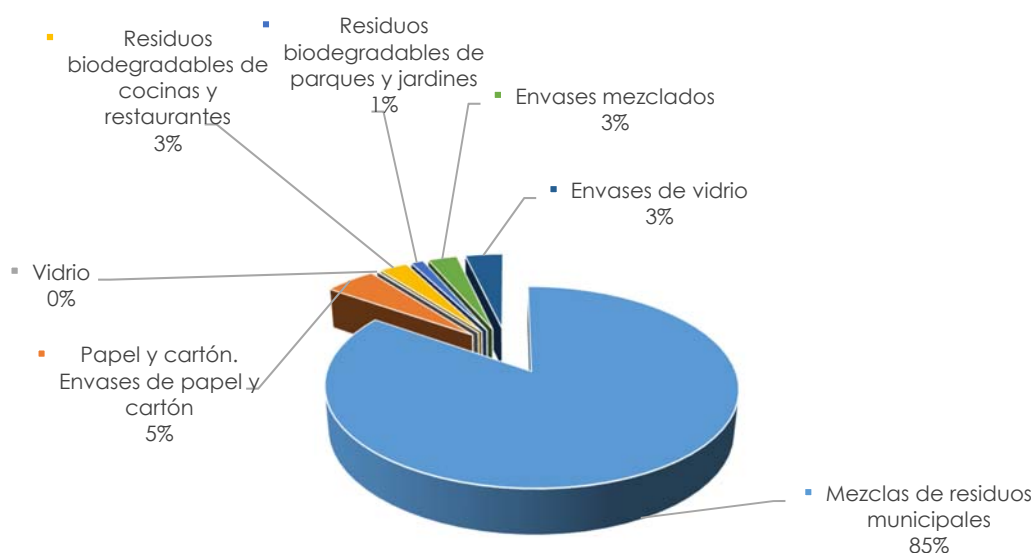


Figura 11. Distribución de la cantidad de residuos urbanos según modalidad. Año 2014.

La Tabla 8 y la Figura 12 muestran la evolución de la recogida selectiva y no selectiva de los residuos domésticos en España en el periodo 2010-2016, mediante los datos extraídos del Instituto Nacional de Estadística (INE).

Tabla 8. Evolución de la recogida selectiva y no selectiva en España (2010-2016).
Fuente: elaboración propia a partir de los datos del INE.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Recogida no selectiva	19.395.265	18.773.628	18.315.103	17.852.826	17.530.077	17.753.549	18.052.075
Recogida selectiva	4.984.758	4.508.351	4.080.708	3.932.859	3.798.230	3.892.745	3.826.298
Total residuos	24.380.023	23.281.979	22.395.811	21.785.685	21.328.307	21.646.294	21.878.373

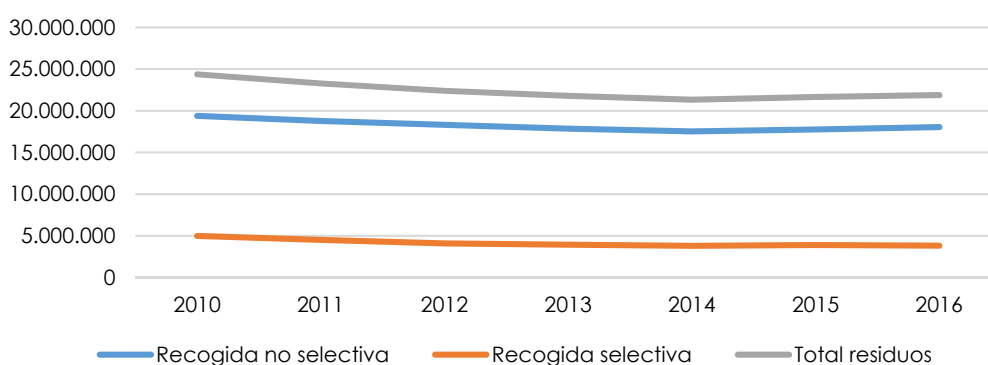


Figura 12. Evolución de la recogida selectiva y no selectiva en España (2010-2016).
Fuente: elaboración propia a partir de los datos del INE.

Respecto al modelo de gestión de los residuos domésticos en Castilla y León, la Tabla 9 y la Figura 13 recogen los datos extraídos del Instituto Nacional de Estadística (INE) en el periodo 2010-2016.

Tabla 9. Evolución de la recogida selectiva y no selectiva en CyL (2010-2016).
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de INE.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Recogida no selectiva	921.961	997.147	935.962	852.844	929.457	931.233	918.165
Recogida selectiva	260.253	251.790	199.211	166.033	136.016	136.311	146.783
Total residuos	1.182.214	1.248.937	1.135.173	1.018.877	1.065.473	1.067.544	1.064.948

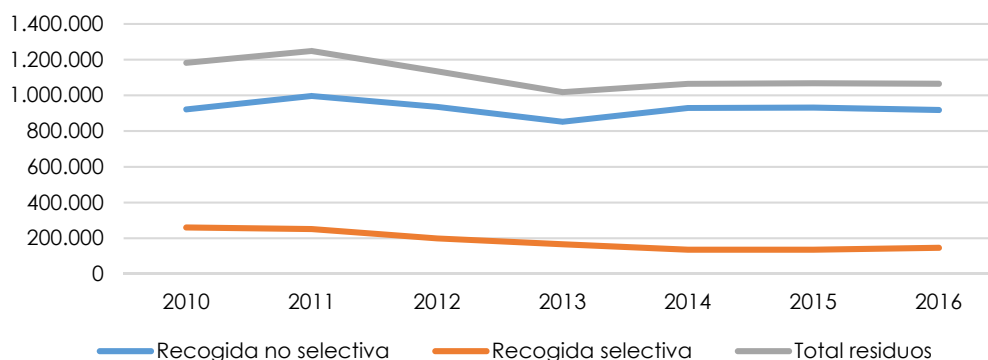


Figura 13. Evolución de la recogida selectiva y no selectiva en Castilla y León (2010-2016).
Fuente: elaboración propia a partir de los datos del INE.

Como se desprende a partir de la información recogida en las Tablas 8 y 9 y Figuras 12 y 13, el modelo de gestión de residuos que prevalece en España y Castilla y León es el de recogida no selectiva con un 82,5% y un 86,2%, respectivamente, en el año 2016.

Cabe destacar que el porcentaje de residuos de recogida no selectiva, tanto en España como en Castilla y León, ha ido en aumento desde el 2010 hasta el 2016 con los siguientes valores: España pasa de tener un 79,6% en 2010 a un 82,5% en 2016; mientras que en Castilla y León los valores oscilan entre un 78% en 2010 hasta un 86,2% en 2016.

2.2.3 Modelos de gestión

El modelo de gestión de residuos de competencia municipal se conforma a partir de las distintas fracciones de residuos recogidas de forma separada, y de la combinación de sistemas de recogida y de los tratamientos posteriores, que han de ser acordes a estas fracciones. En función del número de fracciones recogidas de forma separada y de su eficiencia (cantidad y calidad), las necesidades y tipos de tratamiento, tanto para las fracciones recogidas separadamente como para los residuos mezclados, varían de forma considerable (PEMAR, 2015).

En España se han configurado seis modelos de separación de residuos de competencia municipal atendiendo a las distintas fracciones que se recogen de forma separada que se muestran a continuación:

Tabla 10. Modelos de separación de residuos. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de MITECO.

TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4	TIPO 5	TIPO 6
5 fracciones	Húmedo-seco	Multiproducto	Fracciones + poda	4 fracciones	3 fracciones
Vidrio	Vidrio	Vidrio	Vidrio	Vidrio	Vidrio
Papel-cartón	Papel-cartón	Papel-cartón + Envases ligeros	Papel-cartón	Papel-cartón	Papel-cartón
Envases ligeros	Envases ligeros + Resto	-	Envases ligeros	Envases ligeros	-
Resto	-	Resto	Resto (Incluye FO)	Resto (Incluye FO)	Resto (Incluye FO + Envases ligeros)
FO	FO	FO	Residuos de jardinería	-	-

FO: Fracción orgánica; Resto: fracción indiferenciada no considerada como recogida separada.

Según datos de PEMAR, los modelos más habituales son el Tipo 5, el Tipo 1 (especialmente en Cataluña) y el Tipo 4. El modelo húmedo/seco (Tipo 2) que realiza la separación fundamentalmente de la fracción orgánica e inorgánica (incluye los residuos de envases) solamente se aplica en algunas ciudades. El Tipo 6 es un modelo residual en España, que no integra la separación de residuos de envases ligeros. Finalmente, el Tipo 3 (Multiproducto) existe sólo en algunas zonas y recoge conjuntamente el residuo de papel-cartón con los residuos de envases ligeros.

2.3 BIORRESIDUOS

Como ya se ha comentado anteriormente, los biorresiduos domésticos (MITECO) son los residuos orgánicos biodegradables de origen vegetal y/o animal, susceptibles de degradarse biológicamente generados en el ámbito domiciliario y comercial (siempre que estos últimos sean similares a los primeros).

Las características de la fracción orgánica condicionan su separación en el origen, recogida y posterior tratamiento.

Los biorresiduos según su **naturaleza** se dividen en:

- o Residuos orgánicos de origen alimentario y de cocina
- o Residuos vegetales o Fracción Vegetal (FV) procedentes de las zonas verdes y vegetación privadas y públicas.

Desde una perspectiva de la **gestión de los residuos orgánicos domésticos** están constituidos por las siguientes fracciones:

- Fracción Orgánica (FO). Cuando se recoge de forma separada se utiliza el término FORS (Fracción Orgánica de Recogida Separada). Está constituida por:
 - Restos de la preparación de la comida o manipulación y elaboración de los productos alimentarios, restos sobrantes de comida, alimentos en mal estado y excedentes alimentarios que no se han comercializado o consumido (separados de su envase o embalaje).
 - Fracción Vegetal (FV) en forma de restos vegetales de pequeño tamaño y de tipo no leñoso procedentes de jardinería y poda. Sus características son parecidas a los restos de comida y por ello se asimilan a la fracción orgánica. Por lo tanto, esta fracción vegetal, considerada como similar a la FORS, puede gestionarse también "in situ" o de forma independiente a los restos de comida, según la configuración de los servicios de recogida y los niveles de generación.
- Poda: constituida por la Fracción Vegetal en forma de restos vegetales de jardinería y poda de mayor tamaño y de tipo leñoso. Por sus características requiere una gestión específica por cuestiones relacionadas con logística de recogida, el tratamiento y la temporalidad de generación (frecuencia y periodo).

En la Figura 14 se recoge la clasificación de los biorresiduos domésticos en función de su gestión.

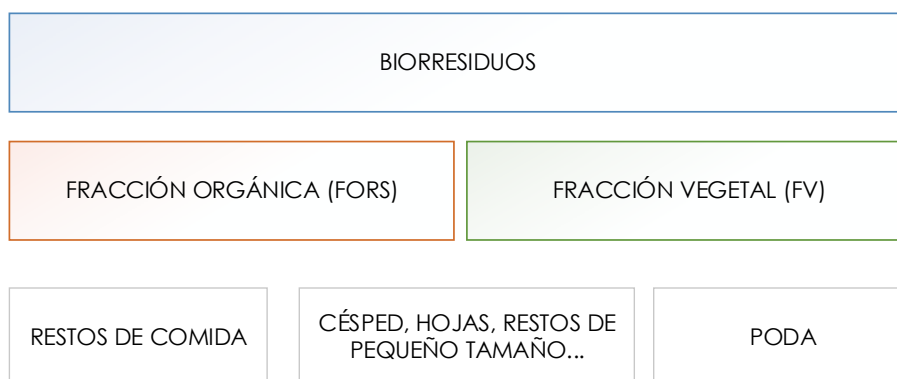


Figura 14. Clasificación de los biorresiduos domésticos en función de su gestión.
Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en MITECO.

2.4 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS

2.4.1 Tratamiento termoquímico

Los tratamientos térmicos o termoquímicos (MITECO) consisten en someter a los residuos a procesos con altas temperaturas para descomponerlos. Estas técnicas se utilizan para la valorización energética de los residuos.

En la Figura 15 se pueden distinguir cuatro tipos de tratamiento, dependiendo de las condiciones del proceso: incineración, gasificación, pirólisis y gasificación por plasma.

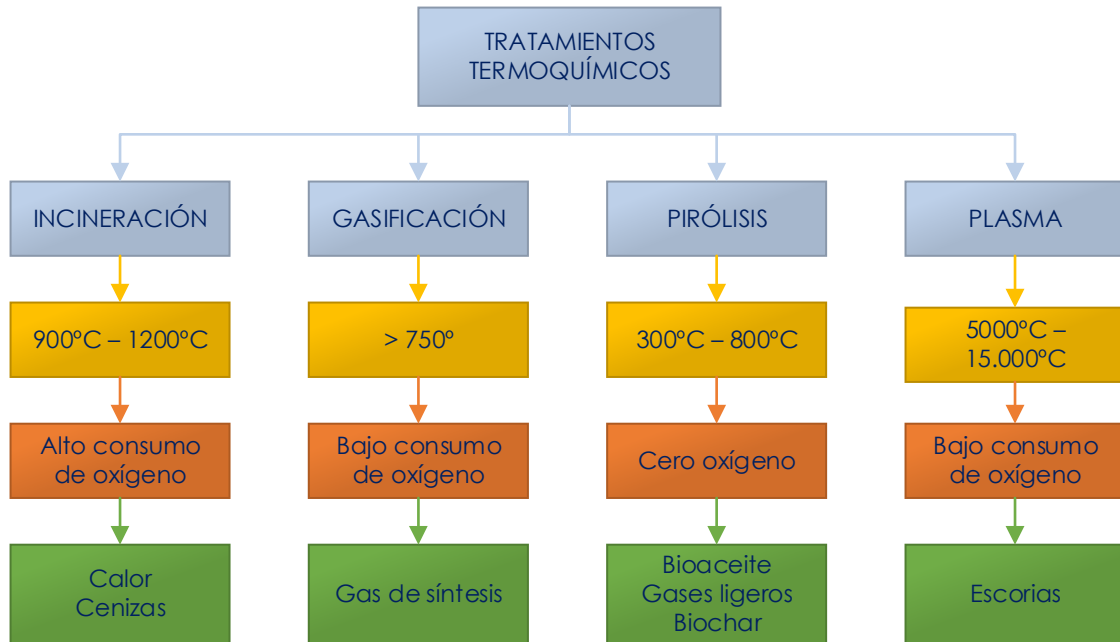


Figura 15. Tipos de tratamientos termoquímicos. Fuente: elaboración propia.

2.4.1.1 Incineración

La incineración consiste en la realización de la combustión completa (oxidación térmica total) de la materia orgánica hasta su conversión en cenizas.

Las características generales son las siguientes:

- o Exceso de oxígeno (10-20%) durante la combustión (para asegurar la oxidación completa).
- o Temperatura de combustión comprendida entre los 900°C y 1200°C.
- o Como resultado del proceso de incineración se obtiene:
 1. *Gases de combustión*, compuestos principalmente por CO₂, H₂O, O₂ no reaccionado, N₂ del aire empleado para la combustión y otros compuestos en menores proporciones procedentes de los diferentes elementos que formaban parte de los residuos.
 2. *Residuo sólido*, compuesto fundamentalmente por escorias inertes, cenizas y residuos del sistema de depuración de los gases de combustión. El calor que llevan los gases a la salida de la cámara de postcombustión, se puede aprovechar para calentar agua, que se utiliza como calefacción o como generador de vapor para usos industriales o para generar energía eléctrica.

Tabla 11. Ventajas e inconvenientes de la Incineración. Fuente: Del Amo, E., 2018.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Reducción de hasta el 90% del volumen	Generación de gases contaminantes (CO ₂ , SO ₂ , CO y NO _x)
Esterilización de los residuos	Gran coste de mantenimiento de los filtros necesarios para la emisión de los gases
Recuperación de energía	Generación de cenizas
	Generación de aguas residuales

2.4.1.2 Gasificación

La gasificación es un proceso de oxidación parcial de la materia, en presencia de cantidades de oxígeno inferiores a las requeridas estequiométricamente.

Las características generales son las siguientes:

- o Se usa aire, oxígeno o vapor como fuente de oxígeno, y en ocasiones como portador en la eliminación de los productos de reacción.
- o La temperatura es superior a los 750°C.
- o Como resultado del proceso de gasificación se obtiene:
 1. *Gas*, denominado gas de síntesis, compuesto principalmente por CO, H₂, CO₂, N₂ (si se emplea aire como gasificante) y CH₄ en menor proporción. Como productos secundarios se encuentran alquitranes, compuestos halogenados y partículas.
 2. *Residuo sólido*, compuesto por materiales no combustibles e inertes presentes en el residuo alimentado; generalmente contiene parte del carbono sin gasificar. Las características de este residuo son similares a las escorias de los hornos en las instalaciones de incineración.

Tabla 12. Ventajas e inconvenientes de la Gasificación. Fuente: Del Amo, E., 2018.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
La ceniza generada puede utilizarse en construcción	Es necesario un pretratamiento del residuo
No es un tratamiento finalista	Producción de alquitrán
Mayor conversión en materia en energía	
Generación de gas de síntesis	
No existe descarga de gases a la atmósfera	

2.4.1.3 Pirólisis

La pirólisis es una degradación térmica de una sustancia en ausencia total de oxígeno, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión.

Las características generales son las siguientes:

- o Se realiza en ausencia de oxígeno (el único oxígeno presente es el contenido en el residuo a tratar).
- o Las temperaturas oscilan entre 300°C y 800°C.
- o Como resultado del proceso se obtiene:
 1. *Gas*, cuyos componentes básicos son CO, CO₂, H₂, CH₄ y compuestos más volátiles procedentes del cracking de las moléculas orgánicas, conjuntamente con los ya existentes en los residuos.
 2. *Residuo líquido*, compuesto por hidrocarburos de cadenas largas (alquitranes, aceites, fenoles y ceras formados al condensar a temperatura ambiente).
 3. *Residuo sólido*, compuesto por todos aquellos materiales no combustibles.

Los residuos líquidos y gaseosos pueden aprovecharse mediante combustión para la producción de energía eléctrica y el residuo sólido puede utilizarse como combustible en instalaciones industriales.

Tabla 13. Ventajas e inconvenientes de la Pirólisis. Fuente: Del Amo, E., 2018.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
No genera gases contaminantes	Tecnología en fase de desarrollo
Posibilidad de emplear residuos orgánicos domésticos e industriales	Las partículas deben ser homogéneas
Generación de subproductos aprovechables	Necesidad de una atmósfera anaerobia
Generación de energía	
Reducción del volumen de los residuos (70 - 90%)	

2.4.1.4 Gasificación por plasma

El plasma es una mezcla de electrones, iones y partículas neutras, obtenido al someter un gas a altas temperaturas. La generación del plasma se realiza al hacer fluir un gas inerte a través de un campo eléctrico existente entre dos electrodos.

Las características generales son las siguientes:

- o Las temperaturas de trabajo están comprendidas entre 5.000°C y 15.000°C.
- o Se utiliza como fuente de calor la energía térmica contenida en el propio plasma a partir de la energía (normalmente eléctrica) consumida para la generación del mismo.
- o Como resultado del proceso se obtiene:
 1. *Gas*, compuesto fundamentalmente por CO e H₂.
 2. *Residuo sólido*, consistente en una escoria inerte.

2.4.2 Tratamiento biológico

En lo que se refiere a la materia orgánica de los residuos municipales cabe distinguir dos tipos de tratamientos (PEMAR, 2015):

- **Tratamiento biológico de la fracción orgánica** de los residuos municipales recogida separadamente, que puede realizarse mediante *compostaje* dando lugar a compost, o mediante digestión anaerobia (también llamada *biometanización*) dando lugar a digestato y biogás. En muchos casos el digestato se somete a un proceso de compostaje posterior, dando lugar a compost.
- **Tratamiento mecánico-biológico de la fracción resto:** la fracción resto se somete a una separación mecánica para recuperar la materia orgánica, que posteriormente es sometida a un proceso de bioestabilización mediante compostaje, o menos frecuentemente mediante digestión anaerobia, que da lugar al material bioestabilizado y biogás en el caso de que se realice digestión anaerobia.

Los tratamientos más habituales según las fracciones recogidas se han indicado en la Tabla 5. Tratamientos y destino final de los residuos (recogida selectiva y no selectiva).

2.4.2.1 Compostaje

El compostaje consiste en la degradación de la materia orgánica mediante microorganismos aerobios en unas condiciones de temperatura y humedad determinadas. Es un proceso biooxidativo controlado que da como producto un compost que puede usarse como abono, para enmiendas del suelo, etc.

Una planta de compostaje está formada por las etapas que se describen a continuación:

Inicialmente, se recogen todos los residuos y se llevan a la planta donde se procede a su **recepción y almacenamiento**. En esta etapa se identifican, se pesan y se registran los residuos recibidos y se depositan en el almacén temporal a la espera de comenzar el proceso de pretratamiento de los mismos. Cabe resaltar que, en la mayoría de las ocasiones, este almacenamiento es innecesario y los materiales comienzan el pretratamiento justo después de la descarga, ya que si se almacenan pueden empezar a fermentar de forma no controlada.

En el caso de que a la planta lleguen residuos con fracción fermentables y no fermentables, procedentes de la recogida no selectiva de residuos, antes de la etapa de pretratamiento será necesario realizar un cribado.

Para que el producto final sea el deseado es necesario realizar una etapa de **pretratamiento** en el cual se consigan los parámetros deseados para obtener un compost de calidad.

En esta etapa, también denominada de mezcla u homogeneización, se consigue que todos los materiales tengan una porosidad, estructura, humedad, pH, proporción de materia orgánica biodegradable, relación carbono/nitrógeno (C/N) y otros elementos esenciales, dentro de parámetros típicos de operación.

Una vez terminado el pretratamiento, comienza la **etapa de descomposición**. En esta etapa se produce la descomposición de la materia orgánica, lo que provoca una liberación de energía, una evaporización parcial del agua contenida y una disminución

en el valor del pH. Al perder parte de la humedad que contiene se produce una disminución, tanto de peso como de volumen, de los materiales.

Al ser una etapa caracterizada por una liberación de energía, las temperaturas de los materiales aumentan. También es muy importante controlar el sistema de aireación, para no perder las condiciones aerobias del proceso.

La siguiente etapa consiste en la **etapa de maduración**. En esta etapa sigue existiendo una degradación de la materia orgánica, pero esta degradación tiene lugar a una velocidad menor, ya que prevalecen compuestos más resistentes a la degradación, lo que implica que es necesaria una menor aireación. Se sigue liberando energía, pero en menor medida que en la etapa de descomposición y la temperatura, en este caso, disminuye.

La última etapa es el **postratamiento**. En ella se recupera el material estructurante mediante un cribado devolviéndolo al proceso, se separan los impropios (rechazos) y se obtiene el compost con una granulometría determinada.

Tabla 14. Ventajas e inconvenientes del compostaje. Fuente: Del Amo, E., 2018.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Aprovechamiento del residuo para generar compost	Generación de malos olores
Cierre del ciclo de la materia orgánica	Presencia de vectores sanitarios
Reducción de la cantidad de residuos destinados a vertederos	Exposición a bacterias por parte de los trabajadores

2.4.2.2 Biometanización

La biometanización o digestión anaerobia consiste en degradar los residuos orgánicos con microorganismos anaerobios para obtener biogás (CH_4 y CO_2) y estabilizar los residuos. En la Tabla 15 se muestran las ventajas e inconvenientes de esta alternativa y en la Figura 16 se indican las etapas de la digestión anaerobia.

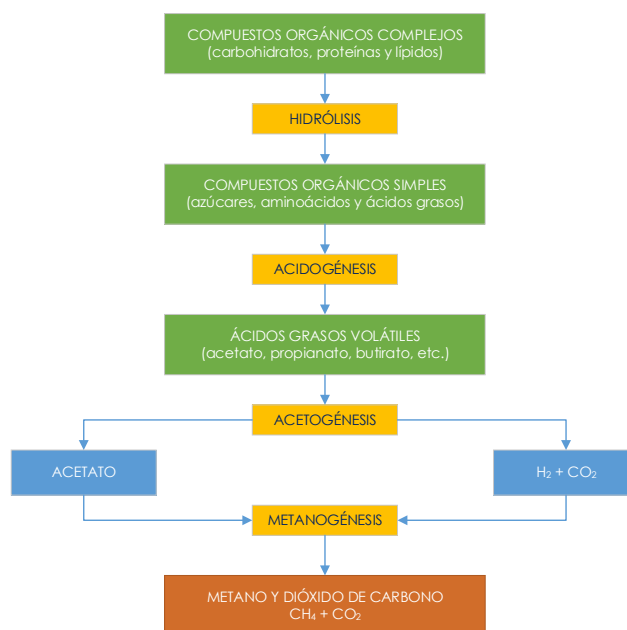


Figura 16. Etapas de la digestión anaerobia. Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. Ventajas e inconvenientes de la biometanización. Fuente: elaboración propia.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Generación de biogás (energía)	Proceso más sensible que el compostaje
Estabilización de la materia orgánica	Alto coste de implantación
Generación de compost	
Homogenización de la composición del residuo	
Reducción de la cantidad de residuos destinados a vertederos	
Eliminación de malos olores	

La Tabla 16 muestra una comparativa entre el compostaje y la biometanización.

Tabla 16. Comparativa compostaje vs. biometanización (digestión anaerobia). Fuente: elaboración propia.

	COMPOSTAJE	DIGESTIÓN ANAEROBIA
Consumo de energía	Consumo	Producción
Productos finales	Humus CO_2 , H_2O	Biogás Residuos digerido
Reducción de volumen	Hasta 50%	Hasta 50%
Tiempo	20 - 30 días	20 - 40 días
Objetivo principal	Reducción volumen	Producción energía
Objetivo secundario	Producción compost	Reducción volumen estabilización

2.5 MATERIAL BIOESTABILIZADO Y COMPOST

Del proceso de compostaje puede resultar compost o material bioestabilizado, según la calidad de la alimentación de entrada al proceso. La Ley 22/2011 de residuos establece la siguiente definición:

Compost: "enmienda orgánica obtenida a partir del tratamiento biológico aerobio y termófilo de residuos biodegradables recogidos separadamente. No se considerará compost el material orgánico obtenido de las plantas de tratamiento mecánico biológico de residuos mezclados, que se denominará **material bioestabilizado**".
Artículo 3. Ley 22/2011.



Figura 17: Compost de recogida selectiva de biorresiduos (imagen izquierda) y del material bioestabilizado de recogida no selectiva (imagen derecha). Fuente: CONAMA, 2016.

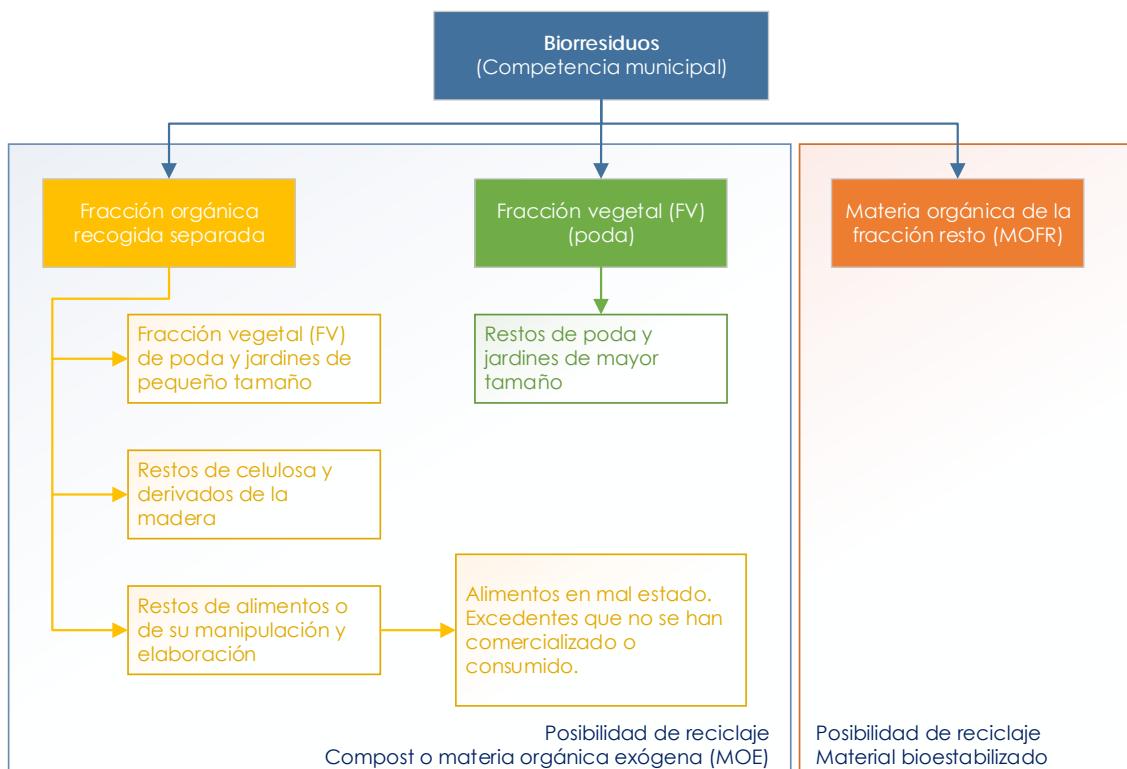


Figura 18: Clasificación de los biorresiduos.
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de CONAMA, 2016.

Los problemas causados al no tratar de forma separada los biorresiduos son:

- Ciclo producto-residuo abierto. Lo que supone una pérdida de recursos naturales y económicos.
- Mezcla de materia orgánica con otros residuos.
- Alta concentración de materia orgánica en vertederos.
- Calentamiento global.

Sin embargo, cuando los biorresiduos se separan en origen, y tras llevar a cabo una serie de tratamientos, se forman subproductos como el compost, que tienen una serie de ventajas:

- Ciclo producto-residuo cerrado. Utilización de los residuos como recurso.
- Aumento del porcentaje de reciclado global de residuos.
- Aumento de la calidad de los componentes de otras fracciones.
- Mejora de la fertilidad del suelo agrícola.
- Reducción en el uso de fertilizantes y pesticidas.
- Protección frente a la erosión del suelo y la desertificación.
- Gran disminución de la materia orgánica depositada en vertederos.
- Prevención del cambio climático.

Tabla 17. Resumen de los beneficios que aporta la gestión diferenciada de biorresiduos.
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de CONAMA, 2016.

	Protección del suelo	Producción/ ahorro de energía	Uso sostenible de recursos	Lucha contra el cambio climático
UTILIZACIÓN DEL COMPOST				
Sustitución del uso de fertilizantes minerales (N,P,K) y otras enmiendas (evita CO ₂ y GEI y ahorra energía)	√	√		√
Recuperación y aportación de la materia orgánica y nutrientes contenidos en la enmienda	√		√	
"Secuestro" de carbono en el suelo	√		√	√
Incremento de la biodiversidad	√			
Resiliencia (capacidad de recuperación) de los suelos	√		√	
Reducción de la erosión	√		√	
Soporte a la actividad biológica → prevención de la "desertificación"	√		√	
Liberación lenta de las fuentes de N	√		√	
Mejora del trabajo de la tierra	√	√	√	√
Incremento de la retención de agua del suelo	√	√	√	
Sustitución de pesticidas	√	√	√	
Sustitución de turbas	√	√	√	√
PRODUCCIÓN Y USO DEL BIOGÁS (obtenido en proceso de digestión anaerobia)				
Sustitución de combustibles fósiles		√	√	√

En la Figura 19 se muestra la diferencia de obtención del compost y del material bioestabilizado. A modo de resumen en lo que se profundizará en los puntos 2.5.1 y 2.5.2, se puede comentar lo siguiente: el compost procede de la recogida selectiva de la materia orgánica (MO) en plantas de compostaje, siendo un producto de valor agrícola; y el material estabilizado procede de la recuperación de la materia orgánica en plantas de tratamiento mecánico-biológico. En este caso, no se obtiene un producto, sino un residuo que tiene una menor calidad que el compost. Tiene un uso agrícola restringido y se usa en recubrimiento de vertederos y construcción de taludes.

Como se indicará más adelante, algunas Comunidades Autónomas están autorizando su aplicación agrícola como R10, pero es una aplicación que se pretende restringir.

Es por ello que hay que buscar alternativas de valorización a este residuo, objetivo en el que está trabajando el proyecto europeo VALORCOMP y objetivo de este TFM, ya que, como se ha visto anteriormente, el modelo de gestión que prevalece en España es el de recogida no selectiva, por lo que la mayor parte de instalaciones de tratamiento obtienen un material bioestabilizado.

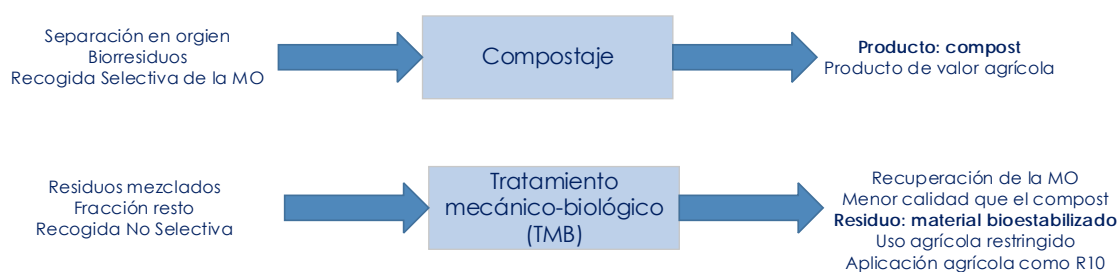


Figura 19. Compost vs material bioestabilizado. Fuente: elaboración propia.

2.5.1 Material bioestabilizado (MB)

La Ley 22/2011 matiza la diferencia entre compost y material bioestabilizado. Define el material bioestabilizado como el resultado de los tratamientos mecánico-biológicos de la fracción resto de los residuos urbanos y asimilables a urbanos. Por lo tanto, no puede considerarse compost todo aquel residuo que no proceda de la separación en origen de la materia orgánica.

La fracción resto, residuos procedentes de la recogida no selectiva, se somete a una separación mecánica para obtener la materia orgánica, que posteriormente es conducida a un proceso de bioestabilización, generalmente mediante compostaje, aunque a veces se somete a digestión anaerobia, obteniéndose además del material bioestabilizado, biogás (CONAMA, 2016).

La legislación vigente no permite utilizar el material bioestabilizado en usos agrícolas como fertilizante. Solo permite el uso de compost para fines agrícolas, y veta el uso del material bioestabilizado por su origen en vez de por su calidad final. Sin embargo, el material bioestabilizado constituye un tipo de enmienda orgánica, que actúa positivamente sobre el sistema suelo-planta. Su aporte, contribuye directamente a la mejora de la fertilidad del suelo mediante el aporte de nutrientes tales como el nitrógeno, fósforo o potasio y contribuye a reducir los riesgos de erosión y pérdida de fertilidad a medio y largo plazo del suelo.

La utilización de material bioestabilizado en el suelo tiene la consideración de operación R10: tratamiento de los suelos que produzca un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los mismos (Anexo II. Ley 22/2011).

En base a esta ley, se exige una serie de requisitos que se han de cumplir respecto a diferentes parámetros agronómicos que se incluyen en el “Decálogo para la utilización del material bioestabilizado y del compost no inscrito en el registro de productos fertilizantes mediante la operación R10, 25 de junio de 2013”, que se resumen en la Tabla 18.

Tabla 18. Requisitos del material bioestabilizado para su aplicación en suelos. Fuente: Decálogo para la utilización del material estabilizado y del compost no inscrito en el registro de productos fertilizantes mediante la operación R10 (25/06/2013)².

PARÁMETROS AGRONÓMICOS	VALOR	UNIDADES
Materia orgánica total	> 25	%
Humedad	20 - 40	%
Corgánico/Norgánico	< 20	-
Partículas que pasan por la malla de 25 mm	> 90	%
IMPUREZAS	VALOR	UNIDADES
Piedras y gravas eventualmente presentes de diámetro > 5 mm	< 5	%
Impurezas eventualmente presentes de diámetro > 2 mm	< 3	%
HIGIENIZACIÓN	VALOR	UNIDADES
Salmonella	Ausente en 25 g de material bioestabilizado	-
Escherichia coli	< 1000	NMp/g
METALES PESADOS	VALOR	UNIDADES
Cadmio (Cd)	< 3	mg/Kg de materia seca
Cobre (Cu)	< 400	
Níquel (Ni)	< 100	
Plomo (Pb)	< 200	
Zinc (Zn)	< 1000	
Mercurio (Hg)	< 2,5	
Cromo total (Cr)	< 300	

Según el Decálogo para la utilización del material estabilizado y del compost no inscrito en el registro de productos fertilizantes mediante la operación R10 (25/06/2013), el material bioestabilizado que no cumpla con estos requisitos, o que cumpliéndolos no sea valorizado en el suelo mediante la operación R10, deberá ser gestionado correctamente (valorización energética o eliminación) conforme a lo establecido en la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

El material bioestabilizado no podrá aplicarse en suelos agrícolas cuya concentración en metales pesados sea igual o superior a los valores que se muestran en la Tabla 19.

² Decálogo para la utilización del material estabilizado y del compost no inscrito en el registro de productos fertilizantes mediante la operación R10 (25/06/2013). [en línea]. [citado 14 agosto 2019]. Disponible en World Wide Web:

<https://cabildo.grancanaria.com/documents/10180/6356570/DECALOGO+MAGRAMA+JUN+2013.pdf/f8f36f4f-869b-4ad3-bcb7-da272db565fb>

Tabla 19. Valores límite de metales pesados en los suelos agrícolas. Fuente: Decálogo para la utilización del material estabilizado y del compost no inscrito en el registro de productos fertilizantes mediante la operación R10 (25/06/2013).

METALES PESADOS	VALORES LÍMITE (mg/kg ms)	
	Suelos con pH < 7	Suelos con pH > 7
Cadmio (Cd)	1	3
Cobre (Cu)	50	210
Níquel (Ni)	30	112
Plomo (Pb)	50	300
Zinc (Zn)	150	450
Mercurio (Hg)	1	1,5
Cromo (Cr)	100	150

La utilización del material bioestabilizado debe estar justificada y solo podrá ser utilizado como material sustitutivo de otras enmiendas orgánicas aplicadas en los suelos receptores.

Actualmente, el uso principal que se le da es el de restauración de suelos degradados (CONAMA, 2016). Los usos más comunes son:

- Restauración de canteras y minas.
- Restauración/construcción de carreteras y autopistas.
- En depósitos controlados:
 - Coberturas intermedias en depósitos en activo.
 - Coberturas finales en depósitos clausurados.
 - Restauración paisajística en depósitos clausurados.
- Uso para terrenos forestales:
 - Sustrato para vivero forestal
 - Regeneración de zonas incendiadas
- Valorización energética.

En muchos casos, el destino final del material bioestabilizado es el depósito en vertedero o incineración en las mismas plantas de tratamiento de residuos (valorización energética) (CONAMA, 2016).

2.5.2 Compost

El compost es una enmienda orgánica obtenida a partir del tratamiento biológico aerobio y termófilo de residuos biodegradables recogidos separadamente.

Es un fertilizante natural que no produce sobrecarga química en los suelos, reduce su esterilización y erosión.

La Figura 20 indica las variables de operación del proceso.

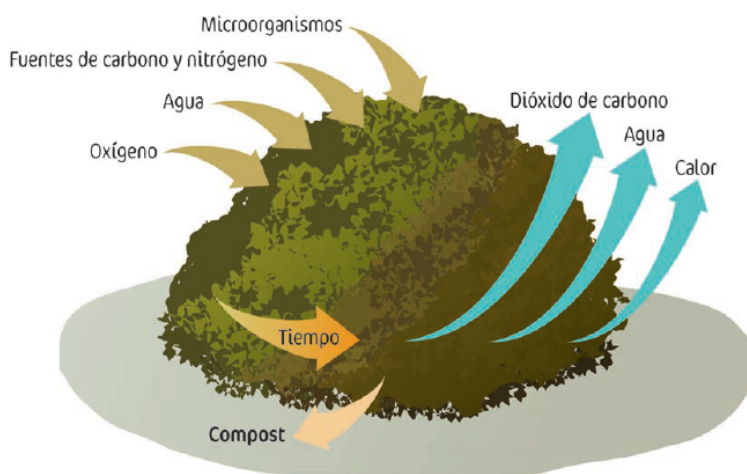
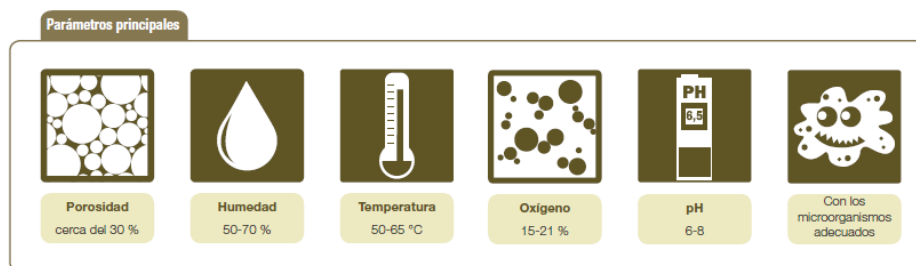


Figura 20. Compost.

El uso del compost y sus características viene regulado por distintas normativas, como son la de fertilizantes y la de sustratos (CONAMA, 2016).

- **Real Decreto 506/2013**, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes: define el compost como un producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), bajo condiciones controladas, de materiales orgánicos biodegradables del Anexo IV, recogidos separadamente (Grupo 6: Enmiendas orgánicas). Dentro de la categoría de los fertilizantes, se diferencian enmiendas orgánicas y fertilizantes propiamente dichos. El compost como tal no tiene los nutrientes suficientes como para poder ser considerado un fertilizante, pero podría formar parte de fertilizantes orgánicos realizando las mezclas adecuadas.
- **Real Decreto 1039/2012**, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo: define al compost como un producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), de materiales orgánicos biodegradables del Anexo V, bajo condiciones controladas.

De acuerdo con el anexo V del R.D. 506/2013, existen una serie de criterio aplicables a los productos fertilizantes elaborados con residuos y otros componentes orgánicos y son los que se muestran a continuación.

Tabla 20. Criterios aplicables a los productos fertilizantes elaborados con residuos y otros componentes orgánicos. Fuente: elaboración propia a partir de los datos R.D. 506/2013. Anexo V.

CRITERIOS APLICABLES A LOS PRODUCTOS FERTILIZANTES ELABORADOS CON RESIDUOS Y OTROS COMPONENTES ORGÁNICOS	
Porcentaje de nitrógeno orgánico	85% del nitrógeno total
Humedad	14%
Granulometría	Malla de 10 mm: debe pasar el 90% del producto fertilizante
Límite máximo de microorganismos	1. Salmonella: Ausencia en 25 g de producto elaborado. 2. Escherichia coli: < 1000 número más probable (NMP) por gramo de producto elaborado.
Límite máximo de metales pesados	Clase A: Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna A. Clase B: Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna B. Clase C: Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna C. Límites de concentración: tabla 21 de este documento.
Limitaciones de uso	1. los productos fertilizantes elaborados con componentes de origen orgánico se aplicarán al suelo siguiendo los códigos de buenas prácticas agrarias. 2. Los productos de la clase C no podrán aplicarse sobre suelos agrícolas en dosis superiores a cinco toneladas de materia seca por ha y año.
Límite máximo de furfural	En los productos que contengan como materia prima lignosulfonatos: 0,05% p/p
Límite máximo de polifenoles	En los productos que contengan como materia prima subproductos o residuos procedentes de almazaras: 0,08% p/p

Los productos fertilizantes elaborados con materias primas de origen animal o vegetal no podrán superar el contenido de metales pesados indicado en la siguiente tabla siguiente, según sea su clase A, B o C:

Tabla 21. Límites de concentración de metales pesados. Fuente: elaboración propia a partir de los datos R.D. 506/2016. Anexo V.

METALES PESADOS	LÍMITES DE CONCENTRACIÓN		
	Sólidos: mg/kg de materia seca		
	Líquidos: mg/kg		
	Clase A	Clase B	Clase C
Cadmio	0,7	2	3
Cobre	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1000
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Cromo (total)	70	250	300
Cromo (VI) *	No detectable según método oficial		

Clase A: Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna A.

Clase B: Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna B.

Clase C: Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna C.

Teniendo en cuenta la legislación vigente, los usos del compost son:

- Sustrato o soporte de cultivo: permite el crecimiento de las raíces de las plantas.
- Enmienda orgánica: mejora las propiedades físicas, química y biológica del suelo.
- Abono orgánico: aportar nutrientes para las plantas.

Entre los usos más habituales del compost se destacan los siguientes:

- Hortofruiticultura, floricultura, agricultura y silvicultura.
- Viveros y jardinería.
- Mantenimiento paisajístico.
- Sellado de vertederos.
- Restauraciones y reforestaciones.
- Rehabilitación de rellenos sanitarios.

El compost se puede utilizar en diversas aplicaciones en función de su grado de madurez, según el cual se puede clasificar en compost fresco y compost maduro (CONAMA, 2016):

- *Compost fresco:* tiene todavía actividad biológica y no toda la materia orgánica ha llegado a descomponerse. Suelen tener periodos de maduración de hasta 4 meses y se suele utilizar en superficie, sin enterrar en el suelo.
- *Compost maduro:* estable. Se puede utilizar en superficie y enterrado en el suelo en determinadas aplicaciones.

2.6 ALTERNATIVAS DE VALORIZACIÓN DEL MATERIAL BIOESTABILIZADO

Valorización: "Cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales, que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función en la instalación o en la economía en general." Artículo 3. Ley 22/2011.

2.6.1 Enmienda de suelos

El suelo está formado por materias minerales y orgánicas. Y aunque es muy importante disponer de las dos, lo es aún más disponer de las segundas, ya que una carencia en sustancias orgánicas impedirá por completo que un suelo sea sustento de cualquier forma de vida.

Un descenso en el contenido de materia orgánica siempre es indicativo de un descenso en la calidad del suelo. Esto puede ser debido a diferentes causas como son: desertización, deforestación, incendios, erosión, degradación (física, química y/o biológica), exceso de pastoreo, una mala gestión del mismo y/o el impacto del hombre, entre otras.

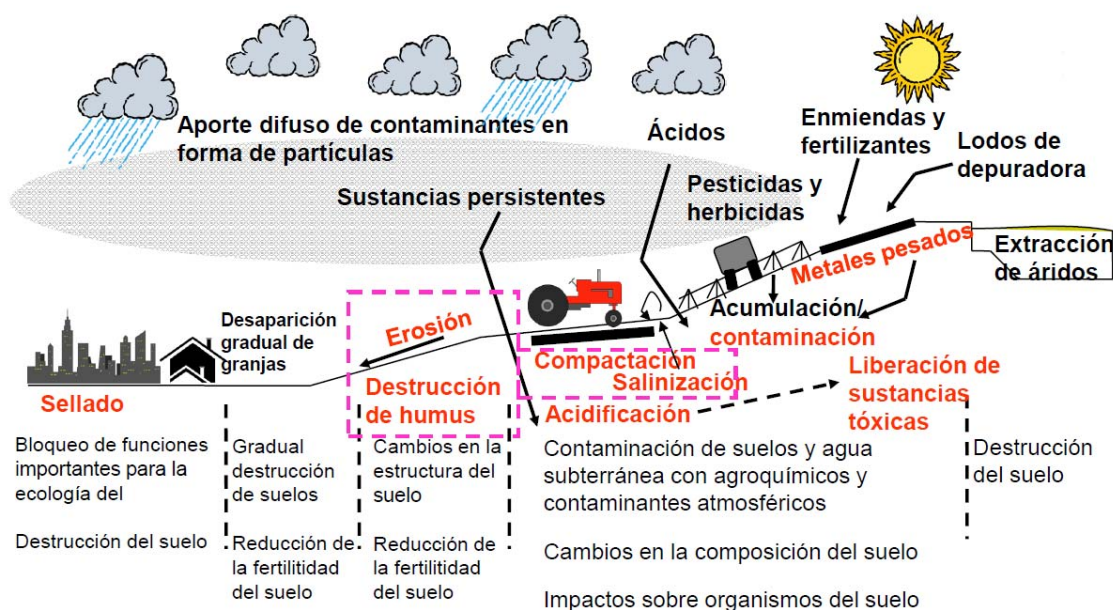


Figura 20. Impacto de las actividades humanas sobre el suelo.
Fuente: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

En general, los suelos agrícolas se caracterizan por contener menores cantidades de materia orgánica que los suelos forestales. Un contenido en carbono de un 1% podría ser el límite por debajo del cual la interacción óptima del sistema suelo-cultivo podría verse comprometida, incluso cuando se suministren los fertilizantes minerales adecuados (Loveland y Webb, 2003; MAGRAMA, 2013). Según dichos autores, niveles por debajo del 1% podrían desencadenar la desertización del territorio.

Se ha estimado (Holland, 2004; MAGRAMA, 2013) que un 16% del territorio cultivado es vulnerable a la desertización. En España, las condiciones edáficas y climáticas favorecen los procesos de oxidación natural de la materia orgánica. Este hecho se traduce en la necesidad de reponer de forma periódica la materia orgánica del suelo con objeto de mantener la fertilidad del mismo.

La presencia de materia orgánica en los suelos de algunas zonas de España es realmente muy escasa, no superando en muchos casos, valores del 2%.

En este sentido, los agricultores necesitan encontrar fuentes complementarias de nutrientes que aporten materia orgánica a los suelos, dado que la cantidad y calidad de la materia orgánica en los suelos de cultivo españoles está disminuyendo de forma notable (MAGRAMA, 2013).

Como ya se ha comentado anteriormente, el material bioestabilizado constituye un tipo de enmienda orgánica, que actúa positivamente sobre el sistema suelo-planta y su utilización en el suelo tiene la consideración de operación R10 y está obligado a cumplir una serie de requisitos respecto a diferentes parámetros agronómicos.

2.6.2 Fertilizantes orgánicos

En los últimos años se están buscando nuevas alternativas para la obtención de fertilizantes orgánicos sostenibles. De este modo, lo que se pretende es reducir el uso de fertilizantes sintéticos y pesticidas, que durante las últimas décadas han contribuido a la degradación de los suelos, a la presencia de residuos químicos en los alimentos que llegan a los hogares y a la aparición de enfermedades profesionales en los agricultores que los utilizan.

La materia orgánica del suelo está formada, en gran parte, por sustancias húmicas. Estas sustancias están presentes en determinados residuos orgánicos, como el compost. Es por ello que, los compost que no cumplan con las normativas vigentes, pueden ser empleados como fuente de sustancias húmicas para su uso como fertilizantes.

2.6.3 Material de construcción

El sector de la construcción tiene un papel muy importante en el desarrollo social y económico de un país, pero también es una de las industrias que generan mayores repercusiones medioambientales negativas.

Los ladrillos son los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial. Sus propiedades dependen, entre otras cosas, de las materias primas utilizadas, las temperaturas de cocción y el método de producción.

Es por ello que en los últimos años se están realizando varias investigaciones para conseguir fabricar ladrillos a partir de residuos. De esta forma se reducen los problemas medioambientales y la escasez de recursos naturales de arcilla.

El material bioestabilizado es un residuo orgánico que podría ser utilizado en la fabricación de materiales de construcción como aditivo para ladrillos.

2.7 LEGISLACIÓN

2.7.1 Legislación Europea

El Diario Oficial de la Unión Europea publicó el año pasado las nuevas directivas del paquete de economía circular que entrarán en vigor antes del 5 de julio de 2020.

- **Directiva (UE) 2018/851** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los **residuos**.
- **Directiva (UE) 2018/850** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 1999/31/CE relativa al **vertido de residuos**.
- **Directiva (UE) 2018/852** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los **envases y residuos de envases**.
- **Directiva (UE) 2018/849** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifican la Directiva 2000/53/CE relativa a los **vehículos al final de su vida útil**, la Directiva 2006/66/CE relativa a las **pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores** y la Directiva 2012/19/UE sobre **residuos de aparatos eléctricos y electrónicos**.

Los objetivos de las nuevas directivas son los siguientes:

- Intensificar el reciclaje de residuos y contribuir a la creación de una economía circular.
- Establecer medidas de preparación para la reutilización y el reciclaje de residuos municipales en un 55% en peso antes de 2025, un 60% antes de 2030 y un 65% antes de 2035, y la reducción del depósito de los vertidos en vertederos.
- Todos los estados miembros con fecha límite de 1 de enero de 2025 establecerán las medidas para asegurar la recogida separada de textiles, residuos orgánicos y residuos peligrosos en los hogares.
- En particular, los envases tienen los siguientes objetivos predefinidos: se reciclará un mínimo del 65% en peso de todos los residuos de envases antes del 31 de diciembre de 2025 y un 70% antes del 31 de diciembre de 2030.

Hasta ahora, la jerarquía europea en la gestión de residuos se centraba en la eliminación de los mismos, dejando en la prevención como el recurso menos empleado. Lo que se persigue en la actualidad es la inversión de la pirámide, de tal manera que se utilicen todos los recursos disponibles dejando en el último lugar la eliminación.



Figura 22. Jerarquía de residuos. Fuente: MITECO.



Figura 23. Jerarquía de residuos. Fuente: Signus Ecovalor.

REGLAMENTO UE 2019/1009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE.

Este Reglamento sobre abonos se encuentra dentro del paquete de la economía circular y garantiza la libre circulación en el mercado interior de una categoría de productos armonizados perteneciente a uno solo de los tipos de productos incluidos en su Anexo I. En el Anexo I de este documento pueden consultarse algunas de las categorías que se incluyen en este reglamento y sus requisitos mínimos.

2.7.2 Legislación Nacional

Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (transposición de la Directiva 2008/98/CE).

Entre las obligaciones que se encuentran en esta ley se mencionan las siguientes:

- Elaborar un Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos que defina la estrategia general de la política de residuos, las orientaciones y la estructura.
- Cumplir en 2020 del objetivo global de reducción del 10% de los residuos generados en 2010.
- Cumplir en 2020 de los objetivos de preparación para la reutilización y reciclado de los residuos domésticos (50%).
- Cumplir en 2020 del objetivo de valorización de los residuos no peligrosos de construcción y demolición (70%).

Programa Estatal de Prevención de Residuos (2014-2020)

Este programa desarrolla la política de prevención de residuos para avanzar en el cumplimiento del objetivo de reducción de los residuos generados en 2020 en un 10 % respecto del peso de los residuos generados en 2010. Describe la situación actual de la prevención en España, realiza un análisis de las medidas de prevención existentes y valora la eficacia de las mismas (MITECO).

Se basa en torno a cuatro líneas estratégicas destinadas a incidir en los elementos clave de la prevención de residuos:

- Reducir de la cantidad de residuos.
- Reutilizar y alargar la vida útil de los productos.
- Reducir el contenido de sustancias nocivas en materiales y productos.
- Reducir los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente, de los residuos generados.

Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) (2016-2022)

El PEMAR trata en su capítulo 6 sobre los residuos domésticos y comerciales.

Entre los objetivos y obligaciones que marca cabe destacar los siguientes (MITECO):

- La jerarquía de cinco niveles que se ha mencionado anteriormente (prevención, preparación para la reutilización, reciclado, otras formas de valorización y eliminación) debe aplicarse como principio rector en la legislación y política sobre prevención y gestión de residuos.
- En 2015, deberá establecerse recogida separada para al menos papel, metal, plástico y vidrio, pudiendo recogerse más de un material en una única fracción siempre que se garantice su adecuada separación y no suponga una pérdida de calidad de los materiales obtenidos ni un incremento de costes.
- Antes de 2020, la cantidad de residuos domésticos y comerciales destinados a la preparación para la reutilización y el reciclado para las fracciones de papel, metales, vidrio, plástico, biorresiduos u otras fracciones reciclables deberá alcanzar, en conjunto, como mínimo el 50% en peso.
- Promoción de medidas para impulsar la recogida separada de biorresiduos para su compostaje y digestión anaerobia y para promover el uso ambientalmente seguro del compost producido en sector de agricultura, jardinería y de las áreas degradadas.

- Las instalaciones de incineración de residuos domésticos deberán clasificarse como instalaciones de valorización o de eliminación en función de si superan el umbral de eficiencia energética, calculado en función de la fórmula establecida en la ley. El Real Decreto 815/2013 incluye el procedimiento para la clasificación de estas instalaciones como operaciones de valorización o de eliminación.
- Aplicación del principio de autosuficiencia y proximidad: se deberá establecer una red integrada de instalaciones de eliminación de residuos y de instalaciones para la valorización de residuos domésticos mezclados, incluso cuando la recogida también abarque residuos similares procedentes de otros productores, teniendo en cuenta las mejores técnicas disponibles. Esta red deberá permitir la eliminación de los residuos o la valorización de los residuos anteriormente mencionados en una de las instalaciones adecuadas más próximas, mediante la utilización de las tecnologías y los métodos más adecuados para asegurar un nivel elevado de protección del medio ambiente y de la salud pública.
- El Real Decreto que regula el depósito de residuos en vertedero establece los requisitos que tienen que cumplir estas instalaciones y fija los objetivos de reducción para los residuos municipales biodegradables (RMB) destinados a vertedero, que para el año 2016 será del 35% respecto de los RMB generados en 1995.

A todo lo anterior habría que añadir los objetivos y orientaciones específicas aplicables a los residuos de envases, de aparatos eléctricos y electrónicos, de pilas y los escombros, procedentes de hogares y similares regulados en la normativa correspondiente.

La aplicación y desarrollo de las orientaciones establecidas en el PEMAR con lleva beneficios de carácter (MITECO):

- *Ambiental:* la correcta gestión de los residuos garantiza la protección de la salud humana, de la atmósfera, de las aguas y del suelo y contribuye a proteger el clima.
- *Económico:* asociados a la actividad empresarial relativa a los residuos y al incremento de la disponibilidad de materias primas empujadas por la industria en condiciones seguras.
- *Social:* asociados a la creación de empleo derivada del fomento de la preparación para la reutilización y del reciclado.

Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes

Este real decreto tiene por objeto establecer la normativa básica en materia de productos fertilizantes y las normas necesarias de coordinación con las comunidades autónomas.

Se presta una especial atención a determinados fertilizantes, particularmente a los que utilizan materias primas de origen orgánico, que están sometidas a reglamentaciones competentes en materia de vigilancia y control y por todos los interesados en general, y se establece la obligatoriedad de su inscripción en el Registro de productos fertilizantes, actualizándose los requisitos de la comunicación al mismo.

Los productos fertilizantes que pueden usarse como abonos o enmiendas en agricultura y jardinería deben pertenecer a alguno de los tipos incluidos en su Anexo I:

a) Grupo 1. Abonos inorgánicos nacionales.

b) Grupo 2. Abonos orgánicos.

Abono orgánico: producto cuya función principal es aportar nutrientes para las plantas, los cuales proceden de materiales carbonados de origen animal o vegetal, cuya relación se incluye en el grupo 2 del Anexo I. Artículo 2. R.D. 506/2013.

c) Grupo 3. Abonos órgano-minerales.

Abono órgano-mineral: producto cuya función principal es aportar nutrientes para las plantas, los cuales son de origen orgánico y mineral, y se obtiene por mezcla o combinación química de abonos inorgánicos con materiales carbonados de origen animal o vegetal o abonos orgánicos, cuya relación se incluye en el grupo 3 del Anexo I. Artículo 2. R.D. 506/2013.

d) Grupo 4. Otros abonos y productos especiales.

e) Grupo 5. Enmiendas calizas.

f) Grupo 6. Enmiendas orgánicas.

g) Grupo 7. Otras enmiendas.

2.7.3 Legislación Autonómica (Castilla y León)

Plan Integral de Residuos de Castilla y León (PIRCyL) (2014-2020)

El PIRCYL se estructura alrededor de una serie de Programas.

Se contemplan dos programas transversales –comunes a todos los flujos de residuos-, y cinco programas verticales – para categorías de residuos diferentes-. Cada uno de los Programas, a su vez, se estructura en varias Líneas de Actuación, que son los ejes estratégicos orientados al largo plazo, alrededor de los que se articulan todas las medidas que componen el Plan.

Dentro de los programas transversales se encuentra el programa de residuos domésticos y comerciales con sus líneas de actuación correspondientes que se muestran a continuación. Para cada una de ellas se establece una serie de medidas que se pueden consultar a partir de la página 274 del PIRCYL.

Tabla 22. Programa de residuos domésticos y comerciales PIRCYL.

PROGRAMA DE RESIDUOS DOMÉSTICOS Y COMERCIALES	RDC01	Consolidación de un modelo integral de gestión de residuos domésticos y comerciales acorde con la Ley 22/2011
	RDC02	Mejora de los rendimientos y eficiencia de los centros de tratamiento de residuos domésticos y plantas de clasificación de envases
	RDC03	Fomento de la valorización energética como solución a la reducción de la eliminación en vertedero

Los objetivos sobre la gestión de residuos domésticos y comerciales son los siguientes:

En materia de reciclado y otras formas de valorización, y mejora de la gestión.

- Mejorar los niveles de reutilización, y los instrumentos para la reutilización y para la preparación para la reutilización de residuos domésticos y comerciales.

- Incrementar durante la primera etapa del PIRCYL la recogida selectiva de las diferentes fracciones de procedencia doméstica.
- Incrementar durante la primera etapa del plan la cantidad total de residuos recogidos a través de los puntos limpios municipales.
- Implantación sistemas de recogida separada de biorresiduos adaptados a la realidad territorial y social de la Comunidad Autónoma.
- Extensión y/o implantación de sistemas de recogida separada de los siguientes materiales: papel, metales, plástico y vidrio adaptados a la realidad territorial y social de la Comunidad Autónoma.
- Mejora de la eficiencia de los centros de tratamiento de residuos.
- Fomentar el aprovechamiento del contenido energético de la fracción rechazo procedente de las instalaciones de tratamiento de residuos domésticos en instalaciones de co-incineración u otras formas de valorización energética a efectos de alcanzar una valorización energética del rechazo generado y reducir la eliminación del residuo.
- Establecimiento de tasas variables ligadas a la generación del residuo y que contemple el coste real de la gestión del mismo, de tal forma que fomente las prácticas de prevención y recogida selectiva de los ciudadanos y comercios.
- Antes de 2020, la cantidad de residuos domésticos y comerciales destinados a la preparación para la reutilización y el reciclado para las fracciones de papel, metales, vidrio, plástico, biorresiduos u otras fracciones reciclables alcanzará, en conjunto, como mínimo el 50% en peso.

En materia de eliminación:

- Limitar el uso de los vertederos de residuos domésticos y comerciales para todo residuo de origen no doméstico o comercial.
- Limitar el vertido a la fracción no valorizable contenida en los residuos domésticos.
- A más tardar el 16 de julio de 2016, reducir la cantidad total, en peso, de residuos domésticos biodegradables destinados a vertedero al 35% de la cantidad total de los generados en 1995.

3 OBJETIVOS

El **objetivo global** del presente Trabajo Fin de Máster es comparar diferentes alternativas de recuperación de nutrientes a partir de material bioestabilizado con el objetivo de obtener fertilizantes de interés agronómico que cumplan con la normativa europea en vigor (Reglamento UE 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE). Para ello, a partir de datos experimentales previos relativos a la extracción de nutrientes utilizando disolución alcalina de KOH y agua como solventes, se pretende determinar qué alternativa es más viable desde el punto de vista ambiental, económico y social, aplicando los indicadores de sostenibilidad propuestos por el IChemE.

Para desarrollar este objetivo global se han planteado los siguientes **objetivos específicos**:

1. Realizar una revisión bibliográfica de la normativa vigente en relación a los residuos domésticos y los modelos de gestión implantados en España y Castilla y León.
2. Analizar los datos experimentales disponibles relativos a concentración y recuperación de nutrientes en extractos obtenidos a partir de material bioestabilizado usando disolución de KOH y agua como solventes. Plantear los diagramas de flujo de cada una de estas alternativas.
3. Determinar cuál es el proceso de producción de fertilizantes más viable desde el punto de vista ambiental, económico y social utilizando para ello los indicadores propuestos por el ICheme.

El presente Trabajo Fin de Máster se enmarca dentro del proyecto VALORCOMP "*Valorización de compost y otros desechos procedentes de la fracción orgánica de los residuos municipales*" financiado por el programa Interreg VA España- Portugal (POCTEP) y FEDER y en el que participa el GIR de Tecnología de Procesos Químicos y Bioquímicos de la Universidad de Valladolid que ha aportado los datos experimentales necesarios para llevar a cabo el TFM.

4 BASES DE DISEÑO

4.1 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL BIOESTABILIZADO

Se dispone de una muestra de afino de compost (material bioestabilizado) en la que se han analizado los siguientes parámetros: granulometría, composición en nutrientes, contenido en impurezas y metales pesados.

Para realizar los experimentos necesarios se ha contado con tres muestras diferentes de afino de compost recogidas en la planta de Tratamiento Mecánico Biológico (TMB) de Residuos do Nordeste, en Mirandela (Portugal).

La composición del material bioestabilizado se recoge a continuación.

Tabla 21. Contenido en nutrientes (macronutrientes y micronutrientes) del afino de compost.

CONTENIDO EN NUTRIENTES						
Componente	Unidades	25/07/2017	20/10/2017	31/01/2018	Promedio	Desviación típica
Materia orgánica	% (s. M.S.)	46,05	54,32	46,89	49,09	4,55
Carbono total	% (s. M.S.)	26,44	28,72	26,54	27,23	1,29
Nitrógeno total	% (s. M.S.)	1,73	2,1	1,95	1,93	0,19
Hierro (Fe)	g/kg	16,46	17,93	24,08	19,49	4,04
P ₂ O ₅	% (s. M.S.)	1,48	1,15	1,53	1,39	0,21
K ₂ O	% (s. M.S.)	2,29	1,87	2,15	2,10	0,21
CaO	% (s. M.S.)	10,86	9,69	12,52	11,02	1,42
MgO	% (s. M.S.)	1,63	1,17	1,76	1,52	0,31
Na ₂ O	% (s. M.S.)	0,8	0,78	0,85	0,81	0,04

Tabla 22. Contenido en metales pesados del afino de compost.

CONTENIDO EN METALES PESADOS						
Componente	Unidades	25/07/2017	20/10/2017	31/01/2018	Promedio	Desviación típica
Zinc (Zn)	mg/kg	416	463	728,2	535,73	168,33
Arsénico (As)	mg/kg	14,55	10,13	9,57	11,42	2,73
Cobre (Cu)	mg/kg	206	202	395	267,67	110,29
Cadmio (Cd)	mg/kg	0,98	1,95	1,3	1,41	0,49
Cromo (Cr)	mg/kg	247,5	264	245,3	252,27	10,22
Manganeso (Mn)	mg/kg	572	337	493,7	467,57	119,66
Níquel (Ni)	mg/kg	52,6	64,08	77,32	64,67	12,37
Plomo (Pb)	mg/kg	130	108,48	197,2	145,23	46,28
Mercurio (Hg)	µg/kg	323,5	431	422,36	392,29	59,73

En base a la composición del material bioestabilizado se muestran en las Tablas 25 y 26 la comparativa en cuanto al contenido mínimo en nutrientes y contenido máximo en metales pesados dados por la reglamentación en vigor dispuesto en las Tablas 27 y 28.

Tabla 23. Contenido en nutrientes de la muestra analizada, comparada con el contenido mínimo en nutrientes en los fertilizantes líquidos con marcado CE.

CONTENIDO EN NUTRIENTES				
Componente	Unidades	Promedio muestras analizadas	Contenido mínimo Fertilizante orgánico líquido (Reglamento)	Contenido mínimo Fertilizante orgánico-mineral líquido (Reglamento)
COT	% (s. M.S.)	27,23	4	3
NT	% (s. M.S.)	1,93	2	2
P ₂ O ₅	% (s. M.S.)	1,39	1	2
K ₂ O	% (s. M.S.)	2,10	2	2

Tabla 24. Contenido en metales pesados de la muestra analizada, comparada con el contenido máximo en metales pesados en los fertilizantes líquidos con marcado CE.

CONTENIDO EN METALES PESADOS				
Componente	Unidades	Promedio muestras analizadas	Contenido máximo Fertilizante orgánico líquido (Reglamento)	Contenido máximo Fertilizante orgánico-mineral líquido (Reglamento)
Cd	mg/L	1,41	1,5	3
Ni	mg/L	64,67	50	50
Pb	mg/L	145,23	120	120

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS FERTILIZANTES LÍQUIDOS

Para poder obtener un fertilizante líquido (*consultar Anexo I*), de acuerdo al Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a la comercialización de los productos fertilizantes con el mercado CE, se lleva a cabo un proceso que consta de dos etapas, tal y como se muestra en la Figura 24.

Una primera extracción sólido-líquido a partir del material bioestabilizado, de la que se obtiene un líquido rico en nutrientes, y una posterior concentración a vacío de los extractos líquidos en nutrientes, en caso de ser necesario, con el fin de obtener un concentrado rico en macro nutrientes que podrá ser utilizado como fertilizante.

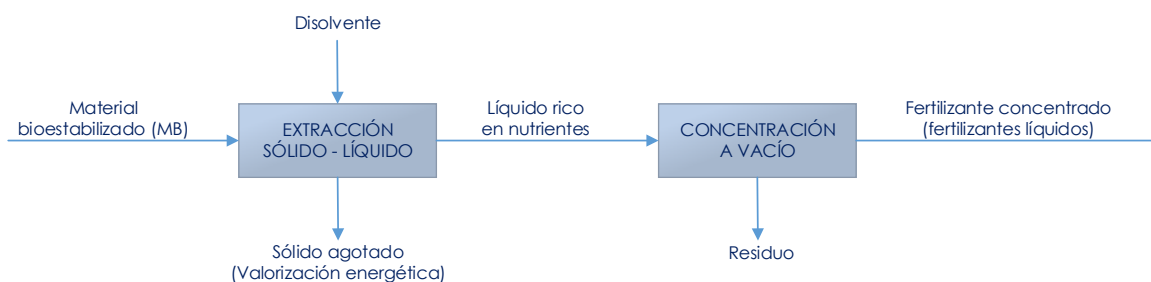


Figura 23. Diagrama de bloques del proceso de recuperación de nutrientes.

ETAPA DE EXTRACCIÓN SÓLIDO - LÍQUIDO

Durante la etapa de extracción sólido-líquido, la materia orgánica, en este caso el material bioestabilizado, se pone en contacto con un disolvente (agua o disolución de KOH), bajo determinadas condiciones, con el objetivo de extraer los nutrientes contenidos en el sólido.

Los métodos de extracción se ven afectados por diferentes factores, como son: la composición inicial del material, la relación sólido-líquido, el tiempo de extracción, la temperatura y la agitación. Estos métodos se diferencian fundamentalmente en el tipo de disolvente utilizado, para los que se ha seleccionado el agua y el KOH, a partir de estudios bibliográficos.

ETAPA DE CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES

La segunda etapa, en caso de ser necesaria, consiste en un proceso de concentración, y tiene por objetivo obtener concentrados de macronutrientes con valor comercial para su posterior uso como productos fertilizantes. Para llevar a cabo la etapa de concentración se pueden utilizar diferentes tecnologías: precipitación química, membranas, stripping y evaporación. La elección de una u otra se realiza en función del tipo de nutriente que se pretenda separar y concentrar.

En este caso, se ha seleccionado la evaporación a vacío, debido a que en este proceso se mantienen todos los nutrientes iniciales presentes en el líquido de la etapa de extracción. Además, este sistema permite llegar a los porcentajes de concentración que establece la legislación para el uso de estos concentrados como fertilizantes.

Para evitar los elevados costes asociados a este proceso, se plantea realizar una valorización energética del residuo sólido procedente de la etapa de extracción, obteniéndose, de este modo, parte de la energía necesaria para el proceso de evaporación.

Para poder cumplir con el Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen disposiciones relativas a la comercialización de los productos fertilizantes con el marcado CE³ en cuanto a fertilizantes líquidos, se deben de cumplir una serie de parámetros, indicados en las Tablas 27 y 28, en cuanto al contenido mínimo de nutrientes y al contenido máximo en metales pesados, tanto si se trata de un fertilizante orgánico líquido, como para un fertilizante órgano-mineral líquido.

Tabla 27. Contenido mínimo en nutrientes en los fertilizantes líquidos con marcado CE.

CONTENIDO MÍNIMO DE NUTRIENTES EN LOS FERTILIZANTES LÍQUIDOS CON MARCADO CE			
Compuesto	Unidades	Fertilizante orgánico líquido	Fertilizante órgano-mineral líquido
COT	% (s. M.S.)	4	3
NT	% (s. M.S.)	2	2
NO	% (s. M.S.)	--	0,5
P ₂ O ₅	% (s. M.S.)	1	2
K ₂ O	% (s. M.S.)	2	2

Tabla 28. Contenido máximo en metales pesados en los fertilizantes líquidos con marcado CE.

CONTENIDO MÁXIMO DE METALES PESADOS EN LOS FERTILIZANTES LÍQUIDOS CON MARCADO CE			
Compuesto	Unidades	Fertilizante orgánico líquido	Fertilizante órgano-mineral líquido
Cd	mg/L	1,5	3
Ni	mg/L	50	50
Pb	mg/L	120	120
Hg	mg/L	1	1
Cr (VI)	mg/L	2	2

³ Anexo I del Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE y se modifican los Reglamentos (CE) n° 1069/2009 y (CE) n° 1107/2009 y se deroga el Reglamento (CE) n° 2003/2003. [en línea]. [citado 25 julio 2019]. Disponible en World Wide Web: <https://www.boe.es/doue/2019/170/L00001-00114.pdf>

4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE FLUJO

Se ha considerado una planta con una capacidad de tratamiento de 200 t/mes de material bioestabilizado. La planta opera 8.000 h/a y se dispone de un flujo de material bioestabilizado de 300 kg/h con un 25 % de humedad. La capacidad de la planta se selecciona a partir de datos de producción de material bioestabilizado en la planta de Tratamiento Mecánico y Biológico que la empresa Residuos do Nordeste, participante en el proyecto Valorcomp, tiene en Mirandela (Portugal).

4.3.1 Descripción del diagrama de flujo: extracción con disolución de KOH

El diagrama de flujo puede consultarse en el Anexo IV y la tabla de corrientes en el Anexo III.

El material bioestabilizado, que es la materia prima del proceso, procede de una etapa de compostaje de la fracción orgánica presente en los residuos de recogida no selectiva. La composición detallada de este residuo se ha mostrado en las Tablas 23 y 24.

El material bioestabilizado ha sido previamente acondicionado y tiene las siguientes características: aspecto homogéneo, sin impurezas, humedad del 25% en peso y tamaño de partícula < 20 mm (más del 95% son < 10 mm). Se encuentra almacenado en un depósito de sólidos y se alimenta al proceso a través de una cinta transportadora al tanque de extracción (R-102 A/B/C/D).

Las otras corrientes de alimentación están formadas por agua y el disolvente: KOH 50%. Tanto el agua como el KOH se alimentan al proceso a través de sendas bombas centrífugas al tanque de preparación de la disolución de KOH (1M). Posteriormente, esta disolución pasa al tanque de extracción (R-102 A/B/C/D) junto con el material bioestabilizado.

En la Tabla 29 se muestran las condiciones óptimas de extracción, determinadas a partir de ensayos experimentales previos.

Tabla 29. Condiciones óptimas (KOH).

CONDICIONES ÓPTIMAS (KOH)	
Relación S/L	1/2,5
Disolvente	KOH (1M)
Tiempo	48 h
Temperatura	45°C

El producto resultante se envía, mediante bomba centrífuga a un tanque pulmón (B-101 A/B).

Una vez que se ha llevado a cabo la extracción, el residuo sólido del material bioestabilizado debe ser retirado. Para ello, se realiza una separación sólido-líquido mediante una centrífuga (S-101) en la que se obtiene una separación sólido-líquido del 90% y se recupera el 80% del líquido. De la centrífuga salen dos corrientes. Una, con el sólido agotado que podrá ser utilizado en una posterior valorización energética, y la otra, con el extracto líquido rico en nutrientes, tras pasar previamente por un tanque de ajuste de pH (R-103) al que se le ha añadido H₂SO₄, para disminuir el pH de 14,25 a 6,5.

En la Tabla 30 se indica la comparación de la composición del extracto líquido obtenido en las condiciones óptimas y las condiciones mínimas propuestas por el Reglamento del Parlamento y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE.

Tabla 30. Comparación de la composición del extracto líquido obtenido en las condiciones óptimas y las condiciones mínimas propuestas en cuanto a carbono y nutrientes y máximas en cuanto a metales pesados por el Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo para fertilizantes con marcado CE.

COMPOSICIÓN EN LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE DISEÑO			
Compuesto	Unidades	Valor	Reglamento del Parlamento Europeo
Carbono orgánico total (COT)	%	6,9	3
NUTRIENTES PRINCIPALES (contener al menos uno de los siguientes nutrientes declarados en las cantidades mínimas indicadas)			
Nitrógeno Kjeldahl Total (NT)	%	0,8	2
Nitrógeno orgánico	%	0,7	0,5
Fósforo (P ₂ O ₅)	%	0,2	2
Potasio (K ₂ O)	%	8,3	2
NUTRIENTES SECUNDARIOS			
Calcio (Ca)	g/L	4,8	–
Magnesio (Mg)	g/L	0,8	–
Sodio (Na)	g/L	2,4	–
MICRONUTRIENTES			
Hierro (Fe)	g/L	1,3	–
Manganeso (Mn)	mg/L	43,8	–
Cobre (Cu)	mg/L	16,8	–
Zinc (Zn)	mg/L	108,4	–
METALES PESADOS			
Cadmio (Cd)	mg/L	0,4	3
Mercurio (Hg)	mg/L	0,02	1
Níquel (Ni)	mg/L	9,2	50
Plomo (Pb)	mg/L	6,6	120
Cromo total (Cr)	mg/L	5,3	–
Cromo VI	mg/L	n.d.	2

n.d.: no determinado.

El líquido rico en nutrientes obtenido tras la extracción sólido-líquido en medio básico se considera como **fertilizante órgano-mineral líquido** con marcado CE, al superar las concentraciones mínimas exigidas en COT y K₂O y no superar las concentraciones máximas de metales pesados (Cd, Hg, Ni y Pb), tal y como se observa en la Tabla 30.

4.3.2 Descripción del diagrama de flujo: extracción con agua

El diagrama de flujo puede consultarse en el Anexo V y la tabla de corrientes en el Anexo III.

El material bioestabilizado se alimenta al proceso a través de una cinta transportadora al tanque de extracción con agitación (R-101 A/B/C/D), al que se le añade agua.

En la Tabla 31 se muestran las condiciones óptimas de extracción, determinadas previamente mediante ensayos de laboratorio.

Tabla 31. Condiciones óptimas (H₂O).

CONDICIONES ÓPTIMAS (H ₂ O)	
Relación S/L	1/2,5
Disolvente	H ₂ O
Tiempo	24 h
Temperatura	45°C

Tras pasar por el tanque pulmón (B-101 A/B) para su acondicionamiento, pasa a una centrífuga (S-101) de donde salen dos corrientes: una, con el sólido agotado y la otra, con el líquido rico en nutrientes.

Al utilizar solamente agua como disolvente, el extracto no alcanza las concentraciones mínimas exigidas, en cuanto a carbono y nutrientes tal y como se recoge en la Tabla 32, por el Reglamento del Parlamento y del Consejo por el que se establecen disposiciones relativas a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE para ser considerado fertilizante líquido.

En este caso, es necesario aumentar la concentración de nutrientes en el extracto, y para ello el líquido rico en nutrientes que sale de la centrífuga (S-101) se lleva a una etapa de concentración a vacío con el objetivo de aumentar dichos valores y cumplir con la normativa vigente. Para ello se fijó una relación de concentración 1/10.

Se introduce el extracto en un evaporador (D-101), donde se retirará parte del agua contenida en el extracto. Tras su paso por el condensador (W-101), la corriente, llega nuevamente hasta los tanques de extracción (R-101 A/B/C/D), donde se mezcla con el agua de entrada. De ahí pasa, de nuevo, por el tanque pulmón (B-101 A/B) y por la centrífuga (S-101).

Una vez realizada la centrifugación, vuelven a salir dos corrientes: una, con el sólido agotado y otra, con el líquido rico en nutrientes de acuerdo las concentraciones mínimas exigidas por el Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen disposiciones relativas a la comercialización de los productos fertilizantes con el mercado CE para ser considerado fertilizante líquido.

En la Tabla 32 se indica la comparación de la composición del extracto líquido obtenido en las condiciones óptimas, el extracto líquido concentrado y las condiciones mínimas propuestas por el Reglamento del Parlamento y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE.

Tabla 32. Comparación de la composición de los extractos líquidos obtenidos antes y después de su concentración y por el Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo para fertilizantes con marcado CE.

COMPOSICIÓN DEL EXTRACTO ANTES Y DESPUÉS DE CONCENTRAR				
Componente	Unidades	Extracto líquido	Extracto concentrado	Reglamento del Parlamento Europeo
COT	g/L	17,2	177,9	30
NUTRIENTES PRINCIPALES (contener al menos uno de los siguientes nutrientes declarados en las cantidades mínimas indicadas)				
NT	g/L	2,4	20,5	20
NO	g/L	1,3	11,8	5
P ₂ O ₅	g/L	0,04	0,4	20
K ₂ O	g/L	5,2	42	20
NUTRIENTES SECUNDARIOS				
Ca	g/L	2.82	21.76	--
Mg	g/L	0.72	6.59	--
Na	g/L	2.72	21.68	--
MICRONUTRIENTES				
Cu	mg/L	3.58	31.58	--
Fe	mg/L	35.5	342	--
Mn	mg/L	1.15	115	--
Zn	mg/L	12	132	--
METALES PESADOS				
Cd	mg/L	0.028	0.22	3
Cr total	mg/L	0.55	4.72	--
Cr VI	mg/L	n.d.	n.d.	2
Hg	mg/L	0.002	0.00127	1
Ni	mg/L	1.55	12.90	50
Pb	mg/L	0.299	0.29	120

n.d.: no determinado.

El líquido rico en nutrientes obtenido tras la extracción sólido-líquido en medio acuoso con posterior concentración a vacío (1/10) se puede considerar como **fertilizante órgano-mineral líquido** con marcado CE, al superar las concentraciones mínimas exigidas en COT, NT, NO y K₂O y no superar las concentraciones máximas de metales pesados (Cd, Hg, Ni y Pb), tal y como se observa en la Tabla 32.

5 ANÁLISIS AMBIENTAL, ECONÓMICO Y SOCIAL DE LAS ALTERNATIVAS DE EXTRACCIÓN

Las políticas de las empresas ya no se rigen únicamente por sus resultados económicos, sino también por la gestión de la sostenibilidad, que integra en la organización las preocupaciones sociales, laborales, medioambientales y el respeto de los derechos humanos, y esto permite conocer el impacto de su actividad en la sociedad.

Para poder medir este aspecto y gestionarlo, las compañías utilizan una serie de indicadores que permiten establecer y revisar sus estrategias, políticas, procedimientos y objetivos de sostenibilidad.

De las todas las herramientas existentes se ha desarrollado "The Sustainability Metrics". Guía publicada por el IChemE que cuenta con 49 indicadores dentro de nueve categorías que considera las variables económicas, sociales y ambientales. Es una herramienta 100% práctica e intuitiva de utilizar, ponderando finalmente la sostenibilidad de una empresa.

Las métricas se dividen en tres grupos, que reflejan los tres componentes del desarrollo sostenible: indicadores ambientales, indicadores económicos e indicadores sociales.

En los siguientes apartados se muestran los resultados obtenidos al aplicar estos indicadores.

5.1 EXTRACCIÓN CON DISOLUCIÓN DE KOH

5.1.1 Indicadores Ambientales

Estas métricas ofrecen una visión equilibrada del impacto ambiental de los insumos (uso de recursos y productos), emisiones, efluentes y residuos y los productos y servicios producidos.

5.1.1.1 Uso de recursos

ENERGÍA

Dentro de los recursos energéticos se debe distinguir entre importaciones y exportaciones. En este caso, solo se dispone de importaciones ya que la planta no exporta energía.

- Importaciones

La planta únicamente necesita recursos eléctricos para el uso de los diferentes equipos. El valor energético de la electricidad se calcula como el sumatorio de las diferentes potencias necesarias para que los equipos funcionen correctamente (ver Anexo II), teniendo en cuenta que la planta trabaja 8.000 h/a y que tiene una vida útil de 20 años.

En la Tabla 33 se muestra de forma detallada la energía consumida por cada equipo en el proceso de extracción con disolución de KOH (para más detalle, ver Anexo II).

Tabla 33. Resumen de la energía consumida por cada equipo en el proceso de extracción con disolución de KOH.

Extracción con disolución de KOH			
	Energía (kW)	Nº equipos	Total (kW)
Electricidad			
R - 101	0,15	1	0,15
R - 102 A/B/C/D	48	4	192
R - 103	0,03	1	0,03
S - 101	0,22	1	0,22
P - 101 A/B	5,5	2	11
P - 102 A/B	5,5	2	11
P - 103 A/B	5,5	2	11
P - 104 A/B	5,5	2	11
P - 105 A/B	5,5	2	11
H - 101	5,5	1	5,5
H - 102	5,5	1	5,5
Total (kW)			258,4

La cantidad de energía utilizada (kJ/a) resulta al dividir al valor obtenido entre la vida útil de la planta.

$$\text{Electricidad (importaciones)} = \frac{\sum \text{potencia de los equipos (W)} \cdot 8.000 \text{ h/a} \cdot 20 \text{ a} \cdot \frac{1 \text{ J/s}}{1 \text{ W}} \cdot \frac{3.600 \text{ s}}{1 \text{ h}}}{\frac{1.000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}}}$$

Las Tablas 34 y 35 muestran los recursos energéticos debido a las exportaciones y a las importaciones de la planta, respectivamente.

Tabla 34. Resumen de los recursos energéticos debido a las importaciones en el proceso de extracción con disolución de KOH.

	Valor energético		Factor de conversión	Valor de energía primaria		Cantidad utilizada (kJ/a)	Tasa de uso (GJ/a)
Electricidad	1,48E+11	kJ	1	1,48E+11	kJ	7,44E+09	7441
Gasolina	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Gas	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Carbón	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Vapor	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Otra (especificar)	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Total	1,48E+11	kJ		1,48E+10	kJ	7,44E+09	7.441

▪ Exportaciones

Como se ha comentado anteriormente, la planta no dispone de exportaciones energéticas.

Tabla 35. Resumen de los recursos energéticos debido a las exportaciones en el proceso de extracción con disolución de KOH.

	Valor energético		Factor de conversión	Valor de energía primaria		Cantidad utilizada (kJ/a)	Tasa de uso (GJ/a)
Electricidad	0	kJ	1	0	kJ	0	0
Gasolina	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Gas	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Carbón	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Vapor	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Otra (especificar)	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Total	0	kJ/kg		0	kJ/kg	0	0

Tabla 36. Tasa total de uso de energía primaria neta y uso neto total de energía primaria.

Tasa total de uso de energía primaria neta = importaciones - exportaciones	7.441	GJ/a
Porcentaje de la energía primaria neta total obtenida de fuentes renovables		%
Uso neto total de energía primaria por kg de producto	2.204,05	kJ/kg
Uso neto total de energía primaria por unidad de valor agregado	2.204,05	kJ/€

Para el cálculo del uso neto total de energía primaria por kg de producto lo que se ha hecho es dividir la tasa total de uso de energía primaria neta, previamente pasada a kJ, entre el extracto líquido obtenido* teniendo en cuenta que la planta trabaja 8.000 h/a.

*El extracto líquido obtenido es 421,95 kg/h (ver Anexo III)

$$\text{Uso neto total de energía primaria por kg de producto} = \frac{7,44 \cdot 10^9 \text{ kJ/a}}{421,95 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}} = 2.204,05 \text{ kJ/kg}$$

En el caso del cálculo del uso neto total de energía primaria por unidad de valor agregado, se ha dividido el uso neto total de energía primaria por kg de producto entre el valor de precio de venta del extracto líquido obtenido**.

**El precio de venta del extracto líquido obtenido es 1€/kg

$$\text{Uso neto total de energía primaria por unidad de producto agregado} = \frac{2.204,05 \text{ kJ/kg}}{1 \text{ €/kg}} = 2.204,05 \text{ kJ/€}$$

MATERIAL (excluyendo combustible y agua)

En la Tabla 37 se muestra un resumen de las materias primas utilizadas en el proceso, tanto peligrosas como no peligrosas, excluyendo el combustible y el agua.

Tabla 37. Resumen de las materias primas utilizadas en el proceso.

Total de materias primas utilizadas, incluido el packaging		t/a
Materia prima reciclada de otras operaciones de la empresa	2.400	t/a
Materia prima reciclada del consumidor		t/a
Materia prima utilizada que plantea riesgos para la salud, la seguridad o el medio ambiente	609,80	t/a

La materia prima reciclada de otras operaciones de la empresa es el material bioestabilizado. En este caso, se utilizan 300 kg/h.

$$\text{Materia prima reciclada} = \frac{300 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}}{\frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}} = 2.400 \text{ t/a}$$

En la categoría de materia prima utilizada que plantea riesgos para la salud, la seguridad o el medio ambiente, se encuentra tanto el KOH utilizado como disolvente, como el H₂SO₄ utilizado para el ajuste de pH. En este caso, se tiene un total de 63,76 kg/h de KOH y 12,45 kg/h de H₂SO₄.

$$\text{Materia prima utilizada que plantea riesgos} = \frac{(63,76 \text{ kg/h} + 12,45 \text{ kg/h}) \cdot 8.000 \text{ h/a}}{\frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}} = 609,8 \text{ t/a}$$

En cuanto a los riesgos para la salud, seguridad y medio ambiente de las materias primas utilizadas en el proceso de extracción con disolución de KOH, se indica lo siguiente:

El **KOH** es un compuesto corrosivo, que presenta determinados riesgos para la salud, seguridad y medio ambiente. Tiene un VLA - ED de 2mg/m³ (Fuente: Límites de exposición profesional a agentes químicos en España, 2018).

- Riesgos para la salud: puede provocar quemaduras graves y lesiones oculares graves.
 - En caso de ingestión: en caso de ingestión existe el peligro de una perforación del esófago y del estómago (fuertes efectos cauterizantes).
 - En caso de contacto con los ojos: provoca quemaduras, provoca lesiones oculares graves, peligro de ceguera.
 - En caso de inhalación: tos, dolor, ahogo y dificultades respiratorias.
 - En caso de contacto con la piel: provoca quemaduras graves, causa heridas difíciles de sanar.
- Riesgos para la seguridad: corrosivo para los metales.
 - EPI's necesarios:
 - Protección ojos/cara: gafas/máscara de protección.
 - Protección de la piel/manos: guantes de protección química.
 - Protección respiratoria: mascarilla con filtro de partículas.
- Riesgos para el medio ambiente: no se clasificará como peligroso para el medio ambiente acuático (según el Reglamento 1272/2008).

El **H₂SO₄ 96%** es un compuesto corrosivo, que presenta determinados riesgos para la salud, seguridad y medio ambiente. Tiene un VLA – EC de 0,05 mg/m³. (Fuente: Límites de exposición profesional a agentes químicos en España, 2018).

- Riesgos para la salud: puede provocar quemaduras graves y lesiones oculares graves.
 - En caso de ingestión: vómitos, existe el peligro de una perforación del esófago y del estómago (fuertes efectos cauterizantes), espasmos.
 - En caso de contacto con los ojos: provoca quemaduras, provoca lesiones oculares graves, peligro de ceguera.
 - En caso de inhalación: corrosivo para las vías respiratorias.
 - En caso de contacto con la piel: provoca quemaduras graves, causa heridas difíciles de sanar.
- Riesgos para la seguridad: corrosivo para los metales.
 - Estabilidad química: el material es estable bajo condiciones ambientales normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión durante su almacenamiento y manipulación.
 - Posibles reacciones peligrosas.
 - EPI's necesarios:
 - Protección ojos/cara: gafas/máscara de protección.
 - Protección de la piel/manos: guantes de protección química.
 - Protección respiratoria: mascarilla con filtro de partículas.
- Riesgos para el medio ambiente: no se clasificará como peligroso para el medio ambiente acuático (según el Reglamento 1272/2008).

A continuación, se muestra una serie de indicadores asociados a las materias primas utilizadas en el proceso.

Tabla 38. Resumen de indicadores de las materias primas utilizadas en el proceso.

Total de materias primas utilizadas por kg de producto	0,89	kg/kg
Total de materias primas utilizadas por unidad de valor agregado	0,89	kg/ €
Fracción de materias primas recicladas dentro de la empresa	0,80	kg/kg
Fracción de materias primas recicladas de los consumidores	0	kg/kg
Materia prima peligrosa por kg de producto	0,18	kg/kg

Para el cálculo del total de materias primas utilizadas por kg de producto basta con dividir al total de materias primas utilizadas por el extracto líquido obtenido, teniendo en cuenta las horas anuales que va a operar la planta:

$$\text{Total de materias primas utilizadas por kg de producto} = \frac{3.009,8 \text{ t/a} \cdot \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}}{421,95 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}} = 0,89 \text{ kg/kg}$$

Del mismo modo, para el cálculo del total de materias primas utilizadas por unidad de valor agregado, basta con dividir al total de materias primas utilizadas por el extracto líquido, teniendo en cuenta las horas anuales que va a operar la planta y el precio de venta del extracto:

$$\text{Total de materias primas utilizadas por kg de producto} = \frac{3.009,8 \text{ t/a} \cdot \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}}{421,95 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a} \cdot 1\text{€/kg}} = 0,89 \text{ kg/€}$$

En cuanto a la fracción de materias primas recicladas dentro de la empresa basta con dividir el material bioestabilizado entre el total de materias primas utilizadas.

$$\text{Fracción de materias primas recicladas} = \frac{2.400 \text{ t/a}}{3.009,8 \text{ t/a}} = 0,80 \text{ kg/kg}$$

La materia prima peligrosa por kg de producto es, la cantidad que entra de KOH y H₂SO₄ dividido entre el extracto líquido obtenido teniendo en cuenta las horas anuales que va a operar la planta:

$$\text{Materia prima peligrosa por kg de producto} = \frac{609,8 \text{ t/a} \cdot \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}}{421,95 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}} = 0,18 \text{ kg/kg}$$

AGUA

La Tabla 39 muestra el agua necesaria en el proceso de extracción con disolución de KOH.

Tabla 39. Resumen del agua necesaria en el proceso de extracción con disolución de KOH.

Agua utilizada en refrigeración	15.046,37	t/a
Agua utilizada en proceso	3.989,92	t/a
Otra agua utilizada	0	t/a
Total agua utilizada	19.036,29	t/a
Agua reciclada internamente	0	t/a
Agua neta consumida = Total utilizado - reciclado	19.036,29	t/a
Agua neta consumida por unidad de masa de producto	5,64	kg/kg
Agua neta consumida por unidad de valor agregado	5,64	kg / €

El agua utilizada en refrigeración corresponde al agua utilizada en el tanque de extracción:

$$CW \text{ total (4 tanques)} = 1.880,80 \text{ kg/h}$$

$$\text{Agua utilizada en la refrigeración} = \frac{1.880,80 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}}{\frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}} = 15.046,37 \text{ t/a}$$

El agua utilizada en el proceso es el agua necesaria en el proceso, teniendo en cuenta las horas anuales que va a operar la planta.

$$\text{Disolución} = \text{Material bioestabilizado seco (kg/h)} \cdot \text{relación} \frac{KOH}{MB} = 225 \text{ kg/h} \cdot 2,5 = 562,5 \text{ kg/h}$$

$$\text{Volumen de disolución} = \frac{\text{disolución (kg/h)}}{\rho_{\text{agua}}(\text{kg/m}^3)} = \frac{562,5 \text{ kg/h}}{990 \text{ kg/m}^3} = 0,568 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua necesaria (m}^3/\text{h)} &= \text{Volumen de disolución (m}^3/\text{h)} - \text{Volumen KOH comercial (m}^3/\text{h)} \\ &= 0,568 \text{ m}^3/\text{h} - 0,06 \text{ m}^3/\text{h} = 0,504 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua necesaria (kg/h)} &= \text{agua necesaria (m}^3/\text{h)} \cdot \rho_{\text{agua}}(\text{kg/m}^3) = 0,504 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 990 \text{ kg/m}^3 \\ &= 498,74 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

$$\text{Agua utilizada en el proceso} = \frac{498,74 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}}{\frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}} = 3.989,92 \text{ t/a}$$

El total de agua utilizada es la suma del agua utilizada en la refrigeración y el agua utilizada en el proceso.

$$\text{Total de agua utilizada} = 15.046,37 \text{ t/a} + 3.989,92 \text{ t/a} = 19.036,29 \text{ t/a}$$

$$\text{Agua neta consumida} = \text{Total utilizado} - \text{reciclado} = 19.036,29 \text{ t/a} - 0 \text{ t/a} = 19.036,29 \text{ t/a}$$

El agua neta consumida por unidad de masa de producto es el agua neta consumida entre el extracto líquido obtenido teniendo en cuenta las horas que va a operar la planta; mientras que en el agua neta consumida por unidad de valor agregado también hay que tener en cuenta el precio de venta del extracto líquido.

$$\text{Agua neta consumida por unidad de masa de producto} = \frac{19.036,29 \text{ t/a} \cdot \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}}{421,95 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}} = 5,64 \text{ kg/kg}$$

$$\text{Agua neta consumida por unidad de valor agregado} = \frac{19.036,29 \text{ t/a} \cdot \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}}{421,95 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a} \cdot 1\text{€/kg}} = 5,64 \text{ kg/€}$$

SUELO

La Tabla 40 recoge la superficie necesaria para la planta. Se ha estimado la superficie necesaria teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los tanques cónicos con un volumen comprendido entre 1.590 y 47.696 m³, deben tener una distancia mayor o igual al diámetro del tanque.
- La distancia mínima entre equipos e intercambiadores de calor debe ser tal que se puedan extraer los tubos.
- Al área resultante se le ha de sumar una distancia de 15 m a los límites de batería.

Tabla 40. Superficie necesaria para el proceso de extracción con disolución de KOH.

Terreno ocupado por unidad operativa	1415	m ² (incluye tierra necesaria para TODAS las actividades)
Otras tierras afectadas por las actividades de la unidad		m ² (describe el efecto)
Tierra total	1415	m ²
Terrenos restaurados a su estado original		m ² / a

Terreno total ocupado + afectado por valor agregado a)		m ² /(€/a)
Tasa de restauración de tierras (restaurada por año / total) b)		(m ² /a)/ m ²

Notas:

a) La tierra afectada que podría ser, por ejemplo, la tierra utilizada en la minería de materias primas o en el vertido de residuos.

b) Las áreas de tierra ocupada y afectada son aquellas al inicio del periodo de informe, y la tierra restaurada es esa área restaurada durante el periodo de referencia.

5.1.1.2 Emisiones, efluentes y residuos

Las categorías de impacto ambiental elegidas son un subconjunto de las utilizadas internacionalmente en la gestión ambiental, seleccionado para enfocarse en áreas donde las actividades de la industria de procesos son más significativas. El enfoque de la carga ambiental es una forma científica sólida de cuantificar el desempeño ambiental. Se basa en la evolución de ciencia ambiental para estimar el impacto ambiental potencial, en lugar de simplemente indicar cantidades de material descargado.

En este apartado se analizan los impactos atmosféricos, acuáticos y al suelo.

Tanto los impactos atmosféricos, como los acuáticos, no aplican.

No se emiten sustancias nocivas a la atmósfera y no se considera ninguna de las materias primas utilizadas peligrosas para el mundo acuático.

IMPACTOS AL SUELO

A continuación, se resumen los parámetros calculados:

Tabla 41. Impactos al suelo.

Disposición total de residuos sólidos peligrosos		t/a (describe el peligro)
Eliminación total de residuos sólidos no peligrosos	3.024	t/a

Residuos sólidos peligrosos por unidad de valor agregado		t/€
Residuos sólidos no peligrosos por unidad de valor agregado	0,001	t/€

Entre los impactos al suelo se encuentra la eliminación total de los residuos sólidos no peligrosos. Este valor es la cantidad de sólido húmedo que abandona el proceso (ver Anexo III) teniendo en cuenta las horas anuales que opera la planta.

$$\text{Eliminación total de residuos sólidos no peligrosos} = \frac{378 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}}{\frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}} = 3.024 \text{ t/a}$$

$$\begin{aligned} \text{Residuos sólidos no peligrosos por unidad de valor agregado} &= \frac{3.024 \text{ t/a}}{421,95 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 8.000 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 1\text{€}/\text{kg}} \\ &= 0,001 \text{ t/€} \end{aligned}$$

5.1.1.3 Elementos ambientales adicionales

No se han considerado elementos ambientales adicionales.

5.1.2 Indicadores Económicos

Un elemento clave de la sostenibilidad es el éxito de la industria en la creación de riqueza. Los indicadores económicos van un poco más lejos que la información financiera convencional al describir la creación de riqueza o valor, y al informar de su distribución y reinversión para el crecimiento futuro.

Para obtener el coste aproximado de los equipos se ha seguido el método descrito en bibliografía (Coulson&Richardson. 2005) y la siguiente ecuación:

$$C_e = CS^n \cdot 0,9 \cdot 1,319$$

donde:

Ce es el coste de compra de los equipos (\$).

C es la constante de coste

S es el parámetro característico del equipo en las unidades que sean oportunas.

N es el índice dado para cada equipo

0,9 es el valor por el que hay que multiplicar para poder pasar de \$ a €.

1,319 es la corrección del IPC con respecto al año 2019, ya que los costes de los equipos ofrecidos en la tabla 6.2 datan del año 2004.

(Para más información consultar Anexo II).

La Tabla 42 resume los resultados obtenidos en cuanto a coste de equipos.

Tabla 42. Resumen de costes asociados a los equipos.

Equipo	Precio (€)
R - 101	904,4
Agitador R - 101	1.368,8
R - 102	29.075,1
Agitador R - 102	98.319,1
B - 101	48.277,5
S - 101	117.048,1
R - 103	820,1
Agitador R - 103	17.841,9
H - 101	12.759,0
H - 102	
Bomba	20.000,0
Total	346.414,0

Para poder obtener el precio (€/a) de las materias primas se ha de multiplicar el flujo (kg/a) por el precio unitario (€/unidad de referencia).

Para el valor del precio unitario (€) se ha tenido en cuenta lo siguiente:

- MB: se ha considerado el precio de venta de la planta de TMB. 0,0132 €/kg.
- Agua: datos de agua industrial de AquaVall, año 2017. 3,216 €/m³.
- KOH 50%p/v: catálogo de precios. El valor oscila entre 1 y 4 €/L. 1,2 €/L.
- H₂SO₄ 96%: dato Coulson&Richardson. Volumen 6, corregido con el IPC. 77 €/t.

La Tabla 43 resume los costes asociados a las materias primas.

Tabla 43. Resumen de costes asociados a las materias primas.

Materia prima	Precio (€/a)
Material bioestabilizado	31.680,0
KOH 50%p/v	467.222,2
Agua de proceso	10.903,3
H ₂ SO ₄ 96%	7.687,7
Total	517.493,2

Para obtener los costes asociados a la planta y los costes de producción se ha seguido el método de los factores de Lang descrito en bibliografía (*Coulson&Richardson. 2005*).

Tabla 44. Factores típicos para la estimación de los costes fijos del proyecto.

Fuente: elaboración propia a partir de la tabla 6.1 Typical factors for estimation of Project fixed capital cost. Coulson&Richardson, 2005. Volumen 6. Página 252.

Ítem	Process type		
	Fluids	Fluids-solids	Solids
1. Major equipment, total purchase cost	PCE	PCE	PCE
f1 Equipment erection	0,40	0,45	0,50
f2 Piping	0,70	0,45	0,20
f3 Instrumentation	0,20	0,15	0,10
f4 Electrical	0,10	0,10	0,10
f5 Buildings, process	0,15	0,10	0,05
*f6 Utilities	0,50	0,45	0,25
*f7 Storages	0,15	0,20	0,25
*f8 Site development	0,05	0,05	0,05
*f9 Ancillary buildings	0,15	0,20	0,30
2. Total physical planta cost (PPC)			
PPC = PCE (1+f1+...+f9)			
=PCE x	3,40	3,15	2,80
f10 Design and Engineering	0,30	0,25	0,20
f11 Contractor's fee	0,05	0,05	0,05
f12 Contingency	0,10	0,10	0,10
Fixed capital = PPC (1+f10+f11+f12)			
=PPC x	1,45	1,40	1,35

*Omitted for minor extensions or additions to existing sites.

Con los resultados indicados en las Tablas 42, 43 y 44, se construye la Tabla 45, donde se indican los costes asociados a la planta.

Tabla 45. Resumen de costes asociados a la planta.

Ítem	Coste (€)		
1. Coste total de los equipos	PCE	1	346.414
Montaje de equipos	F1	0,45 · PCE	155.886,3
Tuberías	F2	0,45 · PCE	155.886,3
Instrumentación	F3	0,15 · PCE	51.962,1
Electricidad	F4	0,1 · PCE	34.641,4
Construcción	F5	0,1 · PCE	34.641,4

Servicios	F6	0,45 · PCE	155.886,3
Almacenamiento	F7	0,2 · PCE	69.282,8
Desarrollo	F8	0,05 · PCE	17.320,7
Construcciones secundarias	F9	0,2 · PCE	69.282,8
2. Coste total de la planta	PPC	3,15 · PCE	1.091.204
Diseño e Ingeniería	F10	0,25 · PPC	272.801,0
Honorarios contratista	F11	0,05 · PPC	54.560,2
Contingencia	F12	0,1 · PPC	109.120,4
Coste capital fijo (FC)	FC	1,4 · PPC	1.527.685,6
Capital circulante (CC)	CC	0,05 · FC	76.384,3
Coste total de inversión (CTI)		FC · CC	1.604.069,9

Tabla 46. Resumen de los costes de producción. Fuente: elaboración propia a partir de la tabla 6.6 Summary of production cost. Coulson&Richardson, 2005. Volumen 6. Página 267.

Variable cost	Typical values
1. Raw materials	from flow-sheets
2. Miscellaneous materials	10 per cent of item (5)
3. Utilities	from flow-sheets
4. Shipping and packaging	usually negligible
Sub-total A	...
Fixed costs	
5. Maintenance	5-10 per cent of fixed capital
6. Operating labour	from manning estimates
7. Laboratory costs	20-23 per cent of 6
8. Supervision	20 per cent of item (6)
9. Plant overheads	50 per cent of item (6)
10. Capital charges	10 per cent of the fixed capital
11. Insurance	1 per cent of the fixed capital
12. Local taxes	2 per cent of the fixed capital
13. Royalties	1 per cent of the fixed capital
Sub-total B	...
Direct production costs A+B	...
13. Sales expense	20-30 per cent of the direct production cost
14. General overheads	
15. Reseach and development	
Sub-total C	...
Annual production costs = A+B+C	...
$Production\ cost\ \text{£/kg} = \frac{Annual\ production\ cost}{Annual\ production\ rate}$	

Con los resultados indicados en las Tablas 42 - 46 se construye la Tabla 47, donde se indican los costes anuales de producción.

Tabla 47. Resumen de coste anual de producción.

Tipo de coste		Coste (€)
1. Materias primas		517.493,3
2. Materias diversas	0,1 · M	15.276,9
3. Servicios	F6	155.886,3
4. Embalaje y transporte		0,0
Total costes variables (CV)		688.656,4
5. Mantenimiento (M)	0,1 · FC	152.768,6
6. Operaciones de funcionamiento (OF)	0,05 · CTI	80.000,0
7. Costes de laboratorio	0,2 · OF	16.000,0
8. Supervisión	0,2 · OF	16.000,0
9. Gastos de estructura	0,5 · OF	40.000,0
10. Capital de cobro	0,1 · FC	152.768,6
11. Seguros	0,01 · FC	15.276,9
12. Impuestos locales	0,02 · FC	30.553,7
13. Canon	0,01 · FC	15.276,9
Total costes fijos (CF)	CF	518.644,5
Costes directos de producción (CDP)	CV + CF	1.207.301,0
14. Coste de ventas	0,2 · CDP	241.460,2
15. Gastos generales	0,2 · CDP	241.460,2
16. Investigación y desarrollo	0,2 · CDP	241.460,2
Costes indirectos de producción (CIP)	CIP	724.380,6
Coste anual de producción	CDP + CIP	1.931.681,6

Se calcula el coste de producción a partir del coste anual de producción y la producción anual de fertilizante obtenido del balance de materia:

$$\text{Coste de producción} = \frac{\text{Coste anual de producción}}{\text{Producción anual de fertilizante}} = \frac{1.931.681,6 \text{ €/año}}{2.948.400 \text{ litros/año}} = 0,655 \text{ €/litro}$$

Con el objetivo de conseguir beneficios y teniendo en cuenta que el coste de producción es de 0,655€/L, el precio de venta debe ser mayor. Para poder determinar el precio de venta del fertilizante, hay que calcular el precio de venta en el cual el TIR es igual a cero. En este caso, el precio mínimo de venta del fertilizante es de 0,899€/L. Con este dato se elige un **precio de venta** igual a **1€/L**.

A partir de los datos obtenidos en las Tablas 45 y 46, se calculan los siguientes indicadores económicos.

5.1.2.1 Beneficio, Valor e Impuesto

Tabla 48. Beneficio, Valor e Impuesto.

Ventas	3.375.000	€/a
Coste de bienes, materias primas y servicios adquiridos	1.243.028	€/a
Valor agregado	2.131.972	€/a (ver nota a)
Margen bruto	1.143.318	€/a (ver nota b)
Ingreso neto antes de impuestos	1.282.911	€/a (NIBT)
Impuestos (total pagado a todas las autoridades fiscales)	537.269	€/a

Las ventas se corresponden con el flujo de extracto líquido obtenido teniendo en cuenta el precio de venta y las horas anuales que la planta está operativa.

$$\text{Ventas (V)} = 421,95 \text{ kg/h} \cdot 1 \text{ €/h} \cdot 8.000 \text{ h/a} = 3.375.000 \text{ €/a}$$

El coste de bienes, materias primas y servicios adquiridos es la diferencia entre los costes del tercer año, que es cuando se considera que la planta va a empezar a estar operativa, y los costes variables.

$$\text{Costes (C)} = \text{Costes } 3^{\text{er}} \text{ (C3)} - \text{CV} = 1.931.682 \text{ €/a} - 688.654,4 \text{ €/a} = 1.243.028 \text{ €/a}$$

Los costes del tercer año son la suma de los costes variables (CV), los costes fijos (CF) y los costes indirectos (CIP). Estos valores se obtienen de la Tabla 47.

$$\text{Costes } 3^{\text{er}} \text{ año (C3)} = 688.654,4 \text{ €/a} + 518.644,5 \text{ €/a} + 724.380,6 \text{ €/a} = 1.931.682 \text{ €/a}$$

El valor agregado (VA) es la diferencia entre las ventas y los costes.

$$\text{Valor agregado (VA)} = 3.375.000 \text{ €/a} - 1.243.028 \text{ €/a} = 2.131.972 \text{ €/a}$$

El MB son los Ingresos por Ventas (V) menos los Costes del 3^{er} año (C3).

$$\text{MB} = V - C3 = 3.375.000 \text{ €/a} - 1.931.682 \text{ €/a} = 1.443.318 \text{ €/a}$$

El Ingreso Neto antes de Impuestos es el Beneficio Antes de Impuestos (BAI) y se calcula como la diferencia entre el Margen Bruto (MB) y la Amortización (A).

$$\text{BAI} = \text{MB} - A = 1.443.318 \text{ €/a} - 160.407 \text{ €/a} = 1.282.911 \text{ €/a}$$

La Amortización (A) son los costes totales de inversión entre los años de amortización.

$$\text{Amortización (A)} = \frac{1.604.069,9 \text{ €}}{10 \text{ años}} = 160.407 \text{ €/a}$$

Los impuestos son el 20% de la diferencia entre las ventas (V) y los costes variables (CV).

$$\text{Impuestos (I)} = (V - C) \cdot 0,2 = (3.375.000 \text{ €/a} - 688.654,4 \text{ €/a}) \cdot 0,2 = 537.269 \text{ €}$$

En la Tabla 49 se muestran los parámetros económicos calculados.

Tabla 49. Parámetros económicos.

Valor agregado a)	2.131.972	€/a
Valor agregado por unidad de valor de ventas	0,63	€/€
Valor agregado por empleado directo	152.768,6	€/a
Margen bruto b) por empleado directo	81.925,6	€/a
Rentabilidad sobre el capital medio empleado (TIR)	17,83	%/a
Impuestos pagados, como porcentaje de NIBT	20,00	%

Notas

a) El valor agregado por la operación es el valor de las ventas menos el costo de los bienes, materias primas (incluida la energía) y servicios adquiridos.

b) El margen bruto es el valor de las ventas menos todos los costos variables.

El Valor agregado por unidad de valor de ventas (VAUV) se obtiene al dividir el valor agregado (VA) entre las ventas (V).

$$\text{Valor agregado por unidad de valor de ventas (VAUV)} = \frac{2.131.972\text{€/a}}{3.375.000\text{€/a}} = 0,63$$

El Valor agregado por empleado directo se corresponde con el valor de mantenimiento indicado en la Tabla 47.

$$\text{Valor agregado por empleado directo (VAED)} = 152.768,6\text{€}$$

El margen bruto por empleado directo es:

$$\text{Margen bruto por empleado directo} = \frac{MB}{VA} = \frac{1.143.318\text{€/a}}{2.131.972\text{€/a}} = 81.925,6\text{€/a}$$
$$\frac{VAED}{152.768,6\text{€/a}}$$

Los Impuestos pagados, como porcentaje de NIBT, son un 20%.

5.1.2.2 Inversiones

A partir de los datos obtenidos en la Tablas 45 se calculan los siguientes indicadores económicos.

Tabla 50. Parámetros económicos.

Capital medio empleado (planta, infraestructura asociada, existencias, capital de trabajo, etc.)	1.167.588,3	€
Aumento (disminución) del capital empleado		€/a
Gastos de investigación y desarrollo	241.460,20	€/a
Número promedio de empleados directos (equivalentes a tiempo completo) Número de nuevos empleados nombrados		/a
Número de empleados con al menos 2 años de antigüedad educación postescolar		(definido en la nota a)
Gastos salariales totales		€/a
Gasto total de beneficios		€/a
Gasto de nómina = salarios + beneficios TOTAL		€/a
Gastos totales de formación para empleados directos.		€/a

Incremento porcentual (disminución) del capital empleado		%/a
Gasto en I + D en ventas (%)		%
Empleados con calificación post-escolar a)		%/a
Gastos de formación como porcentaje del gasto de la nómina		%

NOTA:

a) *Técnicos y graduados y otros que hayan tenido al menos dos años de educación o capacitación después de terminar la educación secundaria. Deben poseer una cualificación profesional, grado, o similar.*

(b) *Indirecto*

Número de trabajos indirectos totalmente dependientes de la unidad operativa (externo, no en la nómina de la empresa. Equivalentes a tiempo completo).

Nº

Inversión en educación (no empleados) a todos los niveles. €/a
(escuelas, colegios, universidades y otros programas educativos)

Otros regalos filantrópicos y caritativos y donaciones. €/a

El capital medio empleado es la suma del coste total de la planta (PPC) y el capital circulante (CC). Ambos valores pueden encontrarse en la Tabla 45.

Capital medio empleado = 1.091.204,0€ + 76.384,3€ = 1.167.588,3€

Los gastos de investigación y desarrollo se corresponden con los gastos generales indicados en la Tabla 45.

Gastos de I + D = 241.460,20€

El resto de indicadores no se han valorado al no contar con datos disponibles para su evaluación.

5.1.2.3 Elementos económicos adicionales

No se han considerado elementos económicos adicionales.

5.1.3 Indicadores Sociales

Los indicadores de desempeño social reflejan la actitud de la compañía en cuanto al trato hacia sus propios empleados, proveedores y contratistas y clientes, y también su impacto en la sociedad en general.

Un buen desempeño social es importante para asegurar la licencia para operar a largo plazo.

En este apartado se analizan los lugares de trabajo, la sociedad y los artículos adicionales, si procede.

Estos indicadores no se han valorado al no contar con datos disponibles para su evaluación, aunque a continuación, se indican unas breves consideraciones que habría que tener en cuenta.

El centro de trabajo es una planta industrial que se dedica a la recuperación de nutrientes de interés agronómico a partir de los residuos municipales.

Su ventaja competitiva radica, por un lado, en su componente medio ambiental dado que recicla un residuo proveniente de las poblaciones urbanas, y por otro, en su bajo coste para los agricultores.

La planta industrial está totalmente automatizada y su distribución es la siguiente:

- Zona de recepción de materias primas. En esta zona se reciben las materias primas y se trasladan a la zona de transformación.
- Zona de transformación de la materia prima. En esta zona se transforma la materia prima mediante una cadena de producción automatizada.
- Zona de expedición. En esta zona se etiqueta el producto final, se envasa y se prepara para su expedición a los Clientes.

DISTRIBUCIÓN DEL PERSONAL EN EL CENTRO DE TRABAJO. FUNCIONES, OBJETIVOS Y PLAN DE RETRIBUCIÓN.

Personal Necesario en 1 Turno de Trabajo:

PERSONAL DE GESTIÓN

Director-a de Planta

- Perfil: graduado-a en Ingeniería con 2 o más años de experiencia en la gestión de empresas industriales o de transformación.
- Funciones: gestionar la adquisición de materias primas y proveedores estableciendo relaciones de ganar-ganar (partners). Gestionar los recursos humanos fomentando un clima de alto rendimiento y satisfacción de los empleados-as. Gestionar las relaciones comerciales y puntos de venta, asegurando un margen global del 20 %. Implantación de las normas de calidad, prevención de riesgos laborales y medio ambiente.
- Salario: 60.000 €
 - o 70 % fijo
 - o 30 % variable en función de objetivos:
 - 15 % por conseguir un margen global del 20 %. Indicador: % margen.
 - 7,5 % por establecer relaciones a largo plazo con proveedores o entidades. Indicador: % rotación proveedores.
 - 7,5 % por establecer un clima de trabajo de alto rendimiento y satisfacción de los empleados. Indicadores: costes de no calidad, encuesta de clima laboral; absentismo laboral; rotación del personal; horas de formación.

PERSONAL DE PLANTA

Carretillero-a

- Perfil: persona especialista en el manejo de carretillas.
- Funciones: recepcionar las materias primas y aprovisionamientos. Mantener el almacén ordenado. Administrar materias primas y elementos necesarios para garantizar el proceso productivo. Colaboración en la implantación de las normas de calidad, prevención de riesgos laborales y medio ambiente.
- Salario: 25.000 €
 - o 90 % fijo
 - o 10 % variable en función de objetivos:
 - 5 % por asegurar el abastecimiento del proceso productivo. Indicador: faltas de abastecimiento.
 - 5 % por cumplimiento de las normas de calidad, prevención de riesgos laborales y medio ambiente. Indicadores: costes de no calidad, absentismo laboral; horas de formación.

Técnico-a de Transformación

- Perfil: Grado Superior de Formación Profesional en mecatrónica, con 2 años de experiencia como jefe-a de equipo en empresas industriales con alto grado de automatización.
- Funciones: manejar la línea de transformación, asegurando una productividad superior al 90 %. Resolución de averías. Distribución y organización del trabajo en el área productiva. Formación del personal de producción. Colaboración en la implantación de las normas de calidad, prevención de riesgos laborales y medio ambiente.
- Salario: 40.000 €
 - o 80 % fijo
 - o 20 % variable en función de objetivos:
 - 10 % por asegurar la eficiencia productiva. Indicador: eficiencia de máquina superior al 90 %.
 - 5 % por asegurar el cumplimiento del plan de producción. Indicador: % de pedidos servidos.
 - 5 % por cumplimiento de las normas de calidad, prevención de riesgos laborales y medio ambiente. Indicadores: costes de no calidad, absentismo laboral; horas de formación.

Especialista de Expediciones

- Perfil: persona especialista en el manejo de transpaletas.
- Funciones: almacenamiento del producto terminado para su expedición. Expedición del producto terminado en los transportes de los Clientes. Colaboración en la implantación de las normas de calidad, prevención de riesgos laborales y medio ambiente.
- Salario: 25.000 €
 - o 90 % fijo
 - o 10 % variable en función de objetivos
 - 5 % por asegurar la expedición del producto terminado. Indicador: % pedidos servidos.
 - 5 % por cumplimiento de las normas de calidad, prevención de riesgos laborales y medio ambiente. Indicadores: costes de no calidad, absentismo laboral; horas de formación.

Las diferencias que pueden existir entre el proceso de extracción con disolución de KOH y el de extracción con agua es principalmente en el uso de materias primas con riesgos para la salud, seguridad y medio ambiente en el caso del proceso de extracción con disolución de KOH. Las cuales pueden provocar malestar, absentismo, etc.

5.2 EXTRACCIÓN CON AGUA

5.2.1 Indicadores Ambientales

5.2.1.1 Uso de recursos

ENERGÍA

Dentro de los recursos energéticos se debe distinguir entre importaciones y exportaciones. En este caso, solo se dispone de importaciones ya que la planta no exporta energía.

- Importaciones

La planta únicamente necesita recursos eléctricos para el uso de los diferentes equipos. El valor energético de la electricidad se calcula como el sumatorio de las diferentes potencias necesarias para que los equipos funcionen correctamente (ver Anexo II), teniendo en cuenta que la planta trabaja 8.000 h/a y que tiene una vida útil de 20 años.

En la Tabla 51 se muestra de forma detallada la energía consumida por cada equipo en el proceso de extracción con agua (para más detalle, ver Anexo II).

Tabla 51. Resumen de la energía consumida por cada equipo en el proceso de extracción con agua.

	Extracción con H ₂ O		
	Energía (kW)	Nº equipos	Total (kW)
Electricidad			
R - 101 A/B/C/D	4,76	4	19,04
S - 101	0,22	1	0,22
P - 101 A/B	5,5	2	11
P - 102 A/B	5,5	2	11
P - 103 A/B	5,5	2	11
P - 104 A/B	5,5	2	11
P - 105 A/B	5,5	2	11
H - 101	5,5	1	5,5
H - 102	5,5	1	5,5
Total Electricidad (kW)			85,26
Vapor			
D - 101	254	1	254
Total Vapor (kW)			254
Total (kW)			339,26

La cantidad de energía utilizada (kJ/a) no es más que dividir al valor obtenido entre la vida útil de la planta.

$$\text{Electricidad (importaciones)} = \frac{\sum \text{potencia de los equipos (W)} \cdot 8.000 \text{ h/a} \cdot 20 \text{ a} \cdot \frac{1 \text{ J/s}}{1 \text{ W}} \cdot \frac{3.600 \text{ s}}{1 \text{ h}}}{\frac{1.000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}}}$$

Las Tablas 52 y 53 muestran los recursos energéticos debido a las exportaciones y a las importaciones de la planta, respectivamente.

Tabla 52. Resumen de los recursos energéticos debido a las importaciones en el proceso de extracción con agua.

	Valor energético		Factor de conversión	Valor de energía primaria		Cantidad utilizada (kJ/a)	Tasa de uso (GJ/a)
Electricidad	4,91E+10	kJ	1	4,91E+10	kJ	2,46E+09	2.455,91
Gasolina	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Gas	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Carbón	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Vapor	2147,60	kJ/kg	1	2147,60	kJ/kg	7,32E+09	7319,10
Otra (especificar)	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Total	1,95E+11	kJ		1,95E+11	kJ	9,77E+09	9.775,00

▪ **Exportaciones**

Como se ha comentado anteriormente, la planta no dispone de exportaciones energéticas.

Tabla 53. Resumen de los recursos energéticos debido a las exportaciones en el proceso de extracción con agua.

	Valor energético		Factor de conversión	Valor de energía primaria		Cantidad utilizada (kJ/a)	Tasa de uso (GJ/a)
Electricidad	0	kJ	1	0	kJ	0	0
Gasolina	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Gas	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Carbón	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Vapor	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Otra (especificar)	0	kJ/kg	1	0	kJ/kg	0	0
Total	0	kJ/kg		0	kJ/kg	0	0

Tabla 54. Tasa total de uso de energía primaria neta y uso neto total de energía primaria.

Tasa total de uso de energía primaria neta = importaciones - exportaciones	9.775,00	GJ/a
Porcentaje de la energía primaria neta total obtenida de fuentes renovables		%
Uso neto total de energía primaria por kg de producto	31.027,80	kJ/kg
Uso neto total de energía primaria por unidad de valor agregado	7.756,95	kJ/ €

Para el cálculo del uso neto total de energía primaria por kg de producto lo que se ha hecho es dividir la tasa total de uso de energía primaria neta, previamente pasada a kJ, entre el extracto líquido obtenido* teniendo en cuenta que la planta trabaja 8.000 h/a.

*El extracto líquido obtenido es 39,38 kg/h (ver Anexo III)

$$\text{Uso neto total de energía primaria por kg de producto} = \frac{9,775 \cdot 10^9 \text{ kJ/a}}{39,38 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}} = 31.027,80 \text{ kJ/kg}$$

En el caso del cálculo del uso neto total de energía primaria por unidad de valor agregado, se ha dividido el uso neto total de energía primaria por kg de producto entre el valor de precio de venta del extracto líquido obtenido**.

**El precio de venta del extracto líquido obtenido es 4€/kg

$$\text{Uso neto total de energía primaria por unidad de producto agregado} = \frac{31.027,80 \text{ kJ/kg}}{4 \text{ €/kg}} = 7.756,95 \text{ kJ/€}$$

MATERIAL (excluyendo combustible y agua)

En la Tabla 55 se muestra un resumen de las materias primas utilizadas en el proceso, tanto peligrosas como no peligrosas, excluyendo el combustible y el agua.

Tabla 55. Resumen de las materias primas utilizadas en el proceso.

Total de materias primas utilizadas, incluido el packaging		t/a
Materia prima reciclada de otras operaciones de la empresa	2.400	t/a
Materia prima reciclada del consumidor		t/a
Materia prima utilizada que plantea riesgos para la salud, la seguridad o el medio ambiente		t/a

La materia prima reciclada de otras operaciones de la empresa es el material bioestabilizado. En este caso, se utilizan 300 kg/h.

$$\text{Materia prima reciclada} = \frac{300 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}}{\frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}} = 2.400 \text{ t/a}$$

En este caso no se emplean materias primas que planteen riesgos para la salud, seguridad o el medio ambiente.

A continuación, se muestra una serie de indicadores asociados a las materias primas utilizadas en el proceso.

Tabla 56. Resumen de indicadores de las materias primas utilizadas en el proceso.

Total de materias primas utilizadas por kg de producto	7,62	kg/kg
Total de materias primas utilizadas por unidad de valor agregado	1,90	kg/€
Fracción de materias primas recicladas dentro de la empresa	1	kg/kg
Fracción de materias primas recicladas de los consumidores	0	kg/kg
Materia prima peligrosa por kg de producto	0	kg/kg

Para el cálculo del total de materias primas utilizadas por kg de producto basta con dividir al total de materias primas utilizadas por el extracto líquido obtenido, teniendo en cuenta las horas anuales que va a operar la planta:

$$\text{Total de materias primas utilizadas por kg de producto} = \frac{2.400 \text{ t/a} \cdot \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}}{39,38 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}} = 7,62 \text{ kg/kg}$$

Del mismo modo, para el cálculo del total de materias primas utilizadas por unidad de valor agregado, basta con dividir al total de materias primas utilizadas por el extracto líquido, teniendo en cuenta las horas anuales que va a operar la planta y el precio de venta del extracto:

$$\text{Total de materias primas utilizadas por kg de producto} = \frac{2.400 \text{ t/a} \cdot \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}}{39,38 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a} \cdot 4 \text{ €/kg}} = 1,90 \text{ kg/€}$$

En cuanto a la fracción de materias primas recicladas dentro de la empresa basta con dividir el material bioestabilizado entre el total de materias primas utilizadas.

$$\text{Fracción de materias primas recicladas} = \frac{2.400 \text{ t/a}}{2.400 \text{ t/a}} = 1 \text{ kg/kg}$$

AGUA

La Tabla 57 muestra el agua necesaria en el proceso de extracción con agua.

Tabla 57. Resumen del agua necesaria en el proceso de extracción con agua.

Agua utilizada en refrigeración	110.133,81	t/a
Agua utilizada en proceso	3.900	t/a
Otra agua utilizada	0	t/a
Total agua utilizada	114.033,81	t/a
Agua reciclada internamente	2.835	t/a
Agua neta consumida = Total utilizado - reciclado	111.198,81	t/a
Agua neta consumida por unidad de masa de producto	352,96	kg/kg
Agua neta consumida por unidad de valor agregado	88,24	kg / €

El agua utilizada en refrigeración corresponde al agua utilizada en el tanque de extracción y en el condensador:

$$\text{CW total (4 tanques de extracción)} = 1.014,02 \text{ kg/h}$$

$$\text{CW condensador} = 3,542 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua utilizada en la refrigeración} &= \frac{(1.014,02 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}) + \left(3.542 \text{ kg/s} \cdot \frac{3.600\text{s}}{1\text{h}} \cdot 8.000 \text{ h/a}\right)}{\frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}} \\ &= 110.133,81 \text{ t/a} \end{aligned}$$

El agua utilizada en el proceso es el agua necesaria en el proceso, teniendo en cuenta las horas anuales que va a operar la planta.

$$\begin{aligned} \text{Agua necesaria (kg/h)} &= MB \text{ (kg/h)} \cdot (1 - \text{humedad}) \cdot \text{relación} \frac{H_2O}{MB} - H_2O \text{ MB(kg/h)} = \\ &= 300 \text{ kg/h} \cdot (1 - 0,25) \cdot 2,5 - (300 \text{ kg/h} \cdot 0,25) = 487,5 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

$$\text{Agua utilizada en el proceso} = \frac{487,5 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}}{\frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}} = 3.900 \text{ t/a}$$

El total de agua utilizada es la suma del agua utilizada en la refrigeración y el agua utilizada en el proceso.

$$\text{Total de agua utilizada} = 110.133,81 \text{ t/a} + 3.900 \text{ t/a} = 114.033,81 \text{ t/a}$$

$$\text{Agua neta consumida} = \text{Total utilizado} - \text{reciclado} = 114.033,81 \text{ t/a} - 2.835 \text{ t/a} = 111.198,81 \text{ t/a}$$

El agua recirculada corresponde a la evaporación, teniendo en cuenta las horas anuales que va a operar la planta. En este caso:

$$\text{Agua recirculada} = 354,38 \text{ kg/h (ver Anexo III)}$$

$$\text{agua recirculada} = \frac{354,38 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}}{\frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}} = 2835 \text{ t/a}$$

El agua neta consumida por unidad de masa de producto es el agua neta consumida entre el extracto líquido obtenido teniendo en cuenta las horas que va a operar la planta; mientras que en el agua neta consumida por unidad de valor agregado también hay que tener en cuenta el precio de venta del extracto líquido.

$$\text{Agua neta consumida por unidad de masa de producto} = \frac{111.198,81 \text{ t/a} \cdot \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}}{39,38 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}} = 352,96 \text{ kg/kg}$$

$$\text{Agua neta consumida por unidad de valor agregado} = \frac{111.198,81 \text{ t/a} \cdot \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}}{39,38 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a} \cdot 4\text{€/kg}} = 88,24 \text{ kg/€}$$

SUELO

La Tabla 58 recoge la superficie necesaria para la planta. Se ha estimado la superficie necesaria teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los tanques cónicos con un volumen comprendido entre 1.590 y 47.696 m³, deben tener una distancia mayor o igual al diámetro del tanque.
- La distancia mínima entre equipos e intercambiadores de calor debe ser tal que se puedan extraer los tubos.
- Al área resultante se le ha de sumar una distancia de 15 m a los límites de batería.

Tabla 58. Superficie necesaria para el proceso de extracción con agua.

Terreno ocupado por unidad operativa	1547	m ² (incluye tierra necesaria para TODAS las actividades)
Otras tierras afectadas por las actividades de la unidad		m ² (describe el efecto)
Tierra total	1547	m ²
Terrenos restaurados a su estado original		m ² / a

Terreno total ocupado + afectado por valor agregado a)		m ² /(€/a)
Tasa de restauración de tierras (restaurada por año / total) b)		(m ² /a)/ m ²

Notas:

a) La tierra afectada que podría ser, por ejemplo, la tierra utilizada en la minería de materias primas o en el vertido de residuos.

b) Las áreas de tierra ocupada y afectada son aquellas al inicio del periodo de informe, y la tierra restaurada es esa área restaurada durante el periodo de referencia.

5.2.1.2 Emisiones, efluentes y residuos

En este apartado se analizan los impactos atmosféricos, acuáticos y al suelo.

Tanto los impactos atmosféricos, como los acuáticos, no aplican.

No se emiten sustancias nocivas a la atmósfera y no se considera ninguna de las materias primas utilizadas peligrosas para el mundo acuático.

IMPACTOS AL SUELO

A continuación, se resumen los parámetros calculados:

Tabla 59. Impactos al suelo.

Disposición total de residuos sólidos peligrosos		t/a (describe el peligro)
Eliminación total de residuos sólidos no peligrosos	3.150	t/a

Residuos sólidos peligrosos por unidad de valor agregado		t/€
Residuos sólidos no peligrosos por unidad de valor agregado	0,0025	t/€

Entre los impactos al suelo se encuentra la eliminación total de los residuos sólidos no peligrosos. Este valor es la cantidad de sólido húmedo que abandona el proceso (ver Anexo III) teniendo en cuenta las horas anuales que opera la planta.

$$\text{Eliminación total de residuos sólidos no peligrosos} = \frac{393,75 \text{ kg/h} \cdot 8.000 \text{ h/a}}{\frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}} = 3.150 \text{ t/a}$$

$$\begin{aligned} \text{Residuos sólidos no peligrosos por unidad de valor agregado} &= \frac{3.150 \text{ t/a}}{39,38 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 8.000 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 4 \text{ €/kg}} \\ &= 0,0025 \text{ t/€} \end{aligned}$$

5.2.1.3 Elementos ambientales adicionales

No se han considerado elementos ambientales adicionales.

5.2.2 Indicadores Económicos

Al igual que en el proceso de extracción con disolución de KOH, para obtener el coste aproximado de los equipos se ha seguido el método descrito en bibliografía (*Coulson&Richardson. 2005*) y la siguiente ecuación:

$$C_e = CS^n \cdot 0,9 \cdot 1,319$$

donde:

Ce es el coste de compra de los equipos (\$).

C es la constante de coste

S es el parámetro característico del equipo en las unidades que sean oportunas.

N es el índice dado para cada equipo

0,9 es el valor por el que hay que multiplicar para poder pasar de \$ a €.

1,319 es la corrección del IPC con respecto al año 2019, ya que los costes de los equipos ofrecidos en la tabla 6.2 datan del año 2004.

(Para más información consultar Anexo II).

La Tabla 60 resume los resultados obtenidos en cuanto a coste de equipos.

Tabla 60. Resumen de costes asociados a los equipos.

Equipo	Precio (€)
R - 101	24.465,7
Agitador R - 101	48.233,2
B - 102	39.343,6
S - 101	117.048,1
D - 101	25.512,6
W - 101	12.116,8
H - 101	12.759,0
H - 102	12.759,0
Bombas	20.000
Total	262.016,4

Para poder obtener el precio (€/a) de las materias primas se ha de multiplicar el flujo (kg/a) por el precio unitario (€/unidad de referencia).

Para el valor del precio unitario (€) se ha tenido en cuenta lo siguiente:

- MB: se ha considerado el precio de venta de la planta de TMB. 0,0132 €/kg.
- Agua: datos de agua industrial de AquaVall, año 2017. 3,216 €/m³.

La Tabla 61 resume los costes asociados a las materias primas.

Tabla 61. Resumen de costes asociados a las materias primas.

Materia prima	Precio (€/a)
Material bioestabilizado	31.680,0
Agua de proceso	1.929,8
Total	33.609,8

Para obtener los costes asociados a la planta y los costes de producción se ha seguido el método de los factores de Lang descrito en bibliografía (*Coulson&Richardson. 2005*). (Ver tabla 44 y 46).

Tabla 62. Resumen de costes asociados a la planta.

Ítem			Coste (€)
1. Coste total de los equipos	PCE	1	262.016,4
Montaje de equipos	F1	0,45	117.907,4
Tuberías	F2	0,45	117.907,4
Instrumentación	F3	0,15	39.302,5
Electricidad	F4	0,1	26.201,6
Construcción	F5	0,1	26.201,6
Servicios	F6	0,45	117.907,4
Almacenamiento	F7	0,2	52.403,3
Desarrollo	F8	0,05	13.100,8
Construcciones secundarias	F9	0,2	52.403,3
2. Coste total de la planta	PPC	3,15	825.351,6
Diseño e Ingeniería	F10	0,25	206.337,9
Honorarios contratista	F11	0,05	41.267,6
Contingencia	F12	0,1	82.535,2
Coste capital fijo (FC)	FC	1,4	1.155.492,2
Capital circulante (CC)		0,05 · FC	57.774,6
Coste total de inversión		FC · CC	1.213.266,8

Con los resultados indicados en las Tablas 60, 61 y 62 se construye la Tabla 63, donde se indican los costes anuales de producción.

Tabla 63. Resumen de coste anual de producción.

Tipo de coste		Coste (€)
1. Materias primas		33.609,8
2. Materias diversas	0,1 · M	11.554,9
3. Servicios	F6	117.907,4
4. Embalaje y transporte		0,0
Total costes variables (CV)		163.072,1
5. Mantenimiento (M)	0,1 · FC	115.549,2
6. Operaciones de funcionamiento (OF)	0,05	80.000,0
7. Costes de laboratorio	0,2 · OF	16.000,0
8. Supervisión	0,2 · OF	16.000,0
9. Gastos de estructura	0,5 · OF	40.000,0
10. Capital de cobro	0,1 · FC	115.549,2
11. Seguros	0,01 · FC	11.554,9

12. Impuestos locales	$0,02 \cdot FC$	23.109,8
13. Canon	$0,01 \cdot FC$	11.554,9
Total costes fijos (CF)		429.318,1
Costes directos de producción (CDP)	CV + CF	592.390,2
14. Coste de ventas	$0,2 \cdot CDP$	118.478,0
15. Gastos generales	$0,2 \cdot CDP$	118.478,0
16. Investigación y desarrollo	$0,2 \cdot CDP$	118.478,0
Costes indirectos de producción (CIP)		355.434,1
Coste anual de producción	CDP + CIP	947.824,4

Se calcula el coste de producción a partir del coste anual de producción y la producción anual de fertilizante obtenido del balance de materia:

$$\text{Coste de producción} = \frac{\text{Coste anual de producción}}{\text{Producción anual de fertilizante}} = \frac{947.824,4 \text{ €/año}}{441.000,0 \text{ litros/año}} = 2,15 \text{ €/litro}$$

Con el objetivo de conseguir beneficios y teniendo en cuenta que el coste de producción es de 2,15€/L, el precio de venta debe ser mayor. Para poder determinar el precio de venta del fertilizante, hay que calcular el precio de venta en el cual el TIR es igual a cero. En este caso, el precio mínimo de venta del fertilizante es de 3,41€/L. Con este dato se elige un **precio de venta** igual a **4€/L**.

A partir de los datos obtenidos en las Tablas 62 y 63, se calculan los siguientes indicadores económicos.

5.2.2.1 Beneficio, Valor e Impuesto

Tabla 64. Beneficio, Valor e Impuesto.

Ventas	1.260.160	€/a
Coste de bienes, materias primas y servicios adquiridos	784.752	€/a
Valor agregado	475.408	€/a (ver nota a)
Margen bruto	312.336	€/a (ver nota b)
Ingreso neto antes de impuestos	191.009	€/a (NIBT)
Impuestos (total pagado a todas las autoridades fiscales)	219.418	€/a

Las ventas se corresponden con el flujo de extracto líquido obtenido teniendo en cuenta el precio de venta y las horas anuales que la planta está operativa.

$$\text{Ventas (V)} = 39,38 \text{ kg/h} \cdot 1 \text{ €/h} \cdot 8.000 \text{ h/a} = 1.260.160 \text{ €/a}$$

El coste de bienes, materias primas y servicios adquiridos es la diferencia entre los costes del tercer año, que es cuando se considera que la planta va a empezar a estar operativa, y los costes variables.

$$\text{Costes (C)} = \text{Costes } 3^{\text{er}} \text{ (C3)} - \text{CV} = 947.824,3\text{€/a} - 163.072,1\text{€/a} = 784.752,2\text{€/a}$$

Los costes del tercer año son la suma de los costes variables (CV), los costes fijos (CF) y los costes indirectos (CIP). Estos valores se obtienen de la Tabla 63.

$$\text{Costes } 3^{\text{er}} \text{ año (C3)} = 163.072,1\text{€/a} + 429.318,1\text{€/a} + 355.434,1\text{€/a} = 947.824,3\text{€/a}$$

El valor agregado (VA) es la diferencia entre las ventas y los costes.

$$\text{Valor agregado (VA)} = 1.260.160 \text{ €/a} - 784.752,2\text{€/a} = 475.407,8\text{€/a}$$

El MB son los Ingresos por Ventas (V) menos los Costes del 3^{er} año (C3).

$$\text{MB} = \text{V} - \text{C3} = 1.260.160\text{€/a} - 947.824,3\text{€/a} = 312.335,7\text{€/a}$$

El Ingreso Neto antes de Impuestos es el Beneficio Antes de Impuestos (BAI) y se calcula como la diferencia entre el Margen Bruto (MB) y la Amortización (A).

$$\text{BAI} = \text{MB} + \text{A} = 312.335,7\text{€/a} - 121.327\text{€/a} = 191.008,7\text{€/a}$$

La Amortización (A) son los costes totales de inversión entre los años de amortización.

$$\text{Amortización (A)} = \frac{1.213.266,8\text{€}}{10 \text{ años}} = 121.327\text{€/a}$$

Los impuestos son el 20% de la diferencia entre las ventas (V) y los costes variables (CV).

$$\text{Impuestos (I)} = (\text{V} - \text{C}) \cdot 0,2 = (1.260.160 \text{ €/a} - 163.072,1\text{€/a}) \cdot 0,2 = 219.417,6\text{€}$$

En la Tabla 65 se muestran los parámetros económicos calculados.

Tabla 65. Parámetros económicos.

Valor agregado a)	475.408	€/a
Valor agregado por unidad de valor de ventas	0,38	€/€
Valor agregado por empleado directo	115.549	€/a
Margen bruto b) por empleado directo	75.914	€/a
Rentabilidad sobre el capital medio empleado	19,28%	%/a
Impuestos pagados, como porcentaje de NIBT	20,00%	%

Notas

a) El valor agregado por la operación es el valor de las ventas menos el costo de los bienes, materias primas (incluida la energía) y servicios adquiridos.

b) El margen bruto es el valor de las ventas menos todos los costos variables.

El Valor agregado por unidad de valor de ventas (VAUV) se obtiene al dividir el valor agregado (VA) entre las ventas (V).

$$\text{Valor agregado por unidad de valor de ventas (VAUV)} = \frac{475.407,8\text{€/a}}{1.260.160\text{ €/a}} = 0,38$$

El Valor agregado por empleado directo se corresponde con el valor de mantenimiento indicado en la Tabla 63.

$$\text{Valor agregado por empleado directo (VAED)} = 115.549,2\text{€}$$

El margen bruto por empleado directo es:

$$\text{Margen bruto por empleado directo} = \frac{MB}{VA} = \frac{312.336\text{€/a}}{475.407,8\text{€/a}} = 75.914,1\text{€/a}$$
$$\frac{VAED}{115.549,2\text{€/a}}$$

Los Impuestos pagados, como porcentaje de NIBT, son un 20%.

5.2.2.2 Inversiones

A partir de los datos obtenidos en la Tablas 62 se calculan los siguientes indicadores económicos.

Tabla 66. Parámetros económicos.

Capital medio empleado (planta, infraestructura asociada, existencias, capital de trabajo, etc.)	883.126	€
Aumento (disminución) del capital empleado		€/a
Gastos de investigación y desarrollo	118.478	€/a
Número promedio de empleados directos (equivalentes a tiempo completo) Número de nuevos empleados nombrados		/a
Número de empleados con al menos 2 años de antigüedad educación postsecundaria		(definido en la nota a)
Gastos salariales totales		€/a
Gasto total de beneficios		€/a

Gasto de nómina = salarios + beneficios	TOTAL	€/a
Gastos totales de formación para empleados directos.		€/a

Incremento porcentual (disminución) del capital empleado		%/a
Gasto en I + D en ventas (%)		%
Empleados con calificación post-escolar a)		%/a
Gastos de formación como porcentaje del gasto de la nómina		%

NOTA:

a) *Técnicos y graduados y otros que hayan tenido al menos dos años de educación o capacitación después de terminar la educación secundaria. Deben poseer una cualificación profesional, grado, o similar.*

(b) *Indirecto*

Número de trabajos indirectos totalmente dependientes de la unidad operativa (externo, no en la nómina de la empresa. Equivalentes a tiempo completo).

Nº

Inversión en educación (no empleados) a todos los niveles. €/a

(escuelas, colegios, universidades y otros programas educativos)

Otros regalos filantrópicos y caritativos y donaciones. €/a

El capital medio empleado es la suma del coste total de la planta (PPC) y el capital circulante (CC). Ambos valores pueden encontrarse en la Tabla 62.

$$\text{Capital medio empleado} = 825.351,6\text{€} + 57.774,6\text{€} = 883.126,2\text{€}$$

Los gastos de investigación y desarrollo se corresponden con los gastos generales indicados en la Tabla 62.

$$\text{Gastos de I + D} = 118.478\text{€}$$

El resto de indicadores no se han valorado al no contar con datos disponibles para su evaluación.

5.2.2.3 Elementos económicos adicionales

No se han considerado elementos económicos adicionales.

5.2.3 Indicadores Sociales

En este apartado se analizan los lugares de trabajo, la sociedad y los artículos adicionales, si procede.

Estos indicadores no se han valorado al no contar con datos disponibles para su evaluación.

5.3 COMPARATIVA DE LAS TECNOLOGÍAS DE EXTRACCIÓN

En la Tabla 67 se indican a modo de resumen la cantidad de material bioestabilizado utilizado y la producción de fertilizante, en cada proceso de extracción.

Tabla 67. MB usado y fertilizante producido.

	MB (kg/h)	Líquido rico en nutrientes (kg/h)
KOH	300	421,95
H ₂ O	300	39,38

5.3.1 Indicadores Ambientales

5.3.1.1 Energía

En la Tabla 68 se muestra la cantidad de energía utilizada en el proceso de extracción con disolución de KOH, teniendo en cuenta que la planta opera 8.000 h/a y tiene una vida útil de 20 años.

Tabla 68. Cantidad de energía utilizada en el proceso de extracción con disolución de KOH.

	Valor energético		Cantidad utilizada	
			GJ/a	kW·h / a
Extracción con KOH				
Electricidad	1,49E+11	kJ	7.442	2,07E+06
Total			7.442	2,07E+06

En la Tabla 69 se muestra la cantidad de energía utilizada en el proceso de extracción con agua, teniendo en cuenta que la planta opera 8.000 h/a y tiene una vida útil de 20 años.

Tabla 69. Cantidad de energía utilizada con agua.

	Valor energético		Cantidad utilizada	
			GJ/a	kW·h / a
Extracción con H ₂ O				
Electricidad	4,91E+10	kJ	2.455	6,82E+05
Vapor	2.147,60	kJ/kg	7.317	2,03E+06
Total			9.772	2,71E+06

En la Tabla 70 se expresan los resultados obtenidos por cantidad de fertilizante producido y material bioestabilizado utilizado.

Tabla 70. Energía por cantidad de fertilizante producido y material bioestabilizado usado.

	Energía (Importaciones)	
	Energía consumida por kg de fertilizante producido (kW·h/kg)	Energía consumida por kg de MB usado (kW·h/kg)
KOH	0,61	0,86
H ₂ O	8,62	1,13

La energía necesaria tanto por kg de fertilizante producido, como por kg de MB usado es superior en el proceso de extracción con disolución de KOH.

A continuación, en la Figura 24 a) y b) se muestran de manera gráfica los resultados de la Tabla 70.

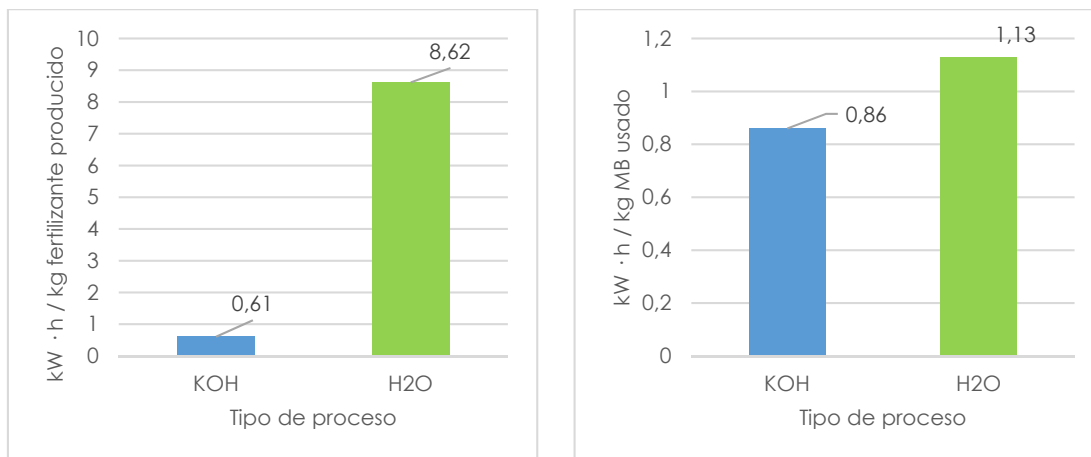


Figura 24. a) Energía necesaria por kg de fertilizante producido por tipo de proceso. b) Energía necesaria por kg de MB usado por tipo de proceso.

5.3.1.2 Materias primas

En ambos procesos se utilizan 300 kg/h de material bioestabilizado.

Cabe destacar que, en el proceso de extracción con disolución de KOH es necesario utilizar, además, 63,76 kg/h de KOH 50% y 12,45 kg/h de H₂SO₄ 96%. Estos dos compuestos son peligrosos para la salud, la seguridad y el medio ambiente.

En la Tabla 71 y Figuras 25 y 26 a) y b), se muestran a modo de resumen las materias primas utilizadas en el proceso (excepto el agua) por producción de fertilizante y por material bioestabilizado utilizado.

Tabla 71. Materias primas empleadas en los procesos de extracción.

	Materias primas (MP)			
	Reciclado (kg de MB / kg de fertilizante producido)	Peligroso (kg de MP / kg de fertilizante producido)	Reciclado (kg de MB / kg MB usado)	Peligroso (kg de MP / kg de MB usado)
KOH	0,71	0,18	1,00	0,25
H ₂ O	7,62	0,00	1,00	0,00

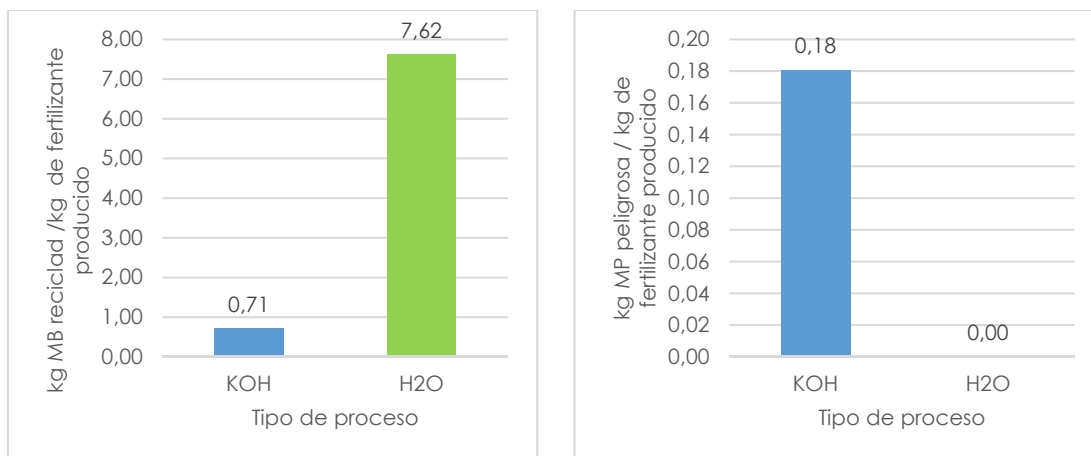


Figura 25. a) MB utilizado por kg de fertilizante producido por tipo de proceso. b) MP peligrosa necesaria por kg de fertilizante producido por tipo de proceso.

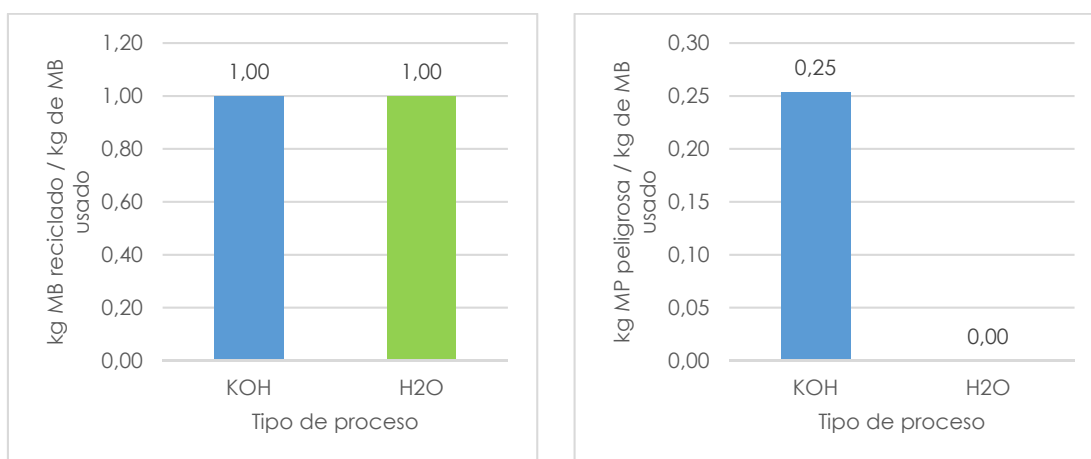


Figura 26. a) MB utilizado por kg de MB usado por tipo de proceso. b) MP peligrosa necesaria por kg de MB usado por tipo de proceso.

La extracción con disolución de KOH produce más fertilizante por kg de MB. Aunque si bien es cierto, la extracción con agua no necesita la utilización de materias primas peligrosas en el proceso (KOH y H₂SO₄).

5.3.1.3 Producción de residuos sólidos

En ambos procesos, además de obtener fertilizante, se genera un sólido agotado como residuo que puede aprovecharse para valorización energética.

En la Tabla 72 y Figuras 27 a) y b) se indican los valores obtenidos.

Tabla 72. Producción de residuos sólidos por fertilizante producido y MB usado.

	Producción de residuos sólidos (kg/h)	kg de sólido por kg de fertilizante producido (kg/kg)	kg de sólido por kg de MB usado (kg/kg)
KOH	378	0,90	1,26
H ₂ O	393,75	10,00	1,31

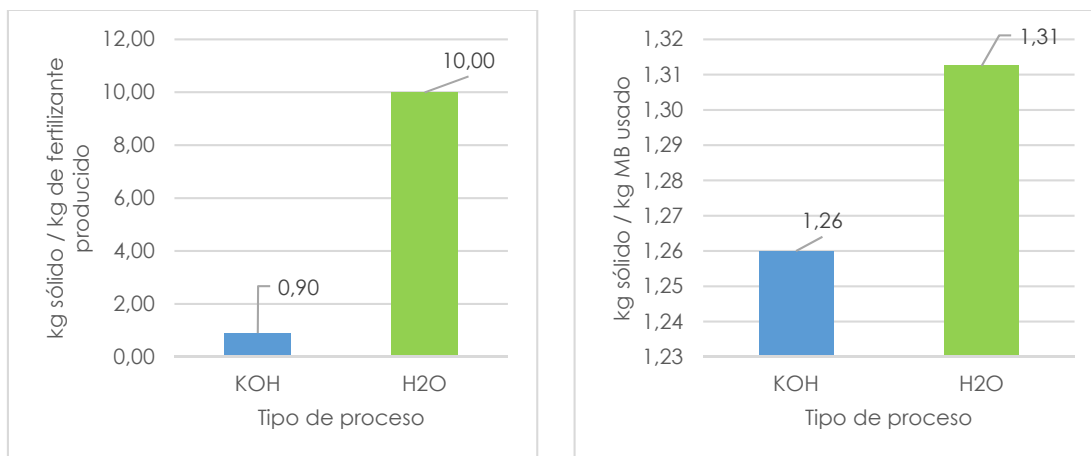


Figura 27. a) Sólido agotado producido por kg de fertilizante producido por tipo de proceso. b) Sólido agotado producido por cada kg de MB usado por tipo de proceso.

No hay diferencias importantes en la obtención de residuos sólidos en los procesos.

5.3.1.4 Consumo de agua

En las tablas 73 y 74 se indican a modo de resumen el agua necesaria en cada tipo de proceso.

Para el proceso de extracción con disolución de KOH es necesario tanto agua de refrigeración, como de proceso. Sin embargo, en el proceso de extracción con agua se tiene, además, un agua necesaria de recirculación a la salida del evaporador.

Tabla 73. Necesidades de agua en el proceso de extracción con disolución de KOH.

	Extracción con disolución de KOH		
	Flujo (kg/h)	Nº equipos	Total (kg/h)
Agua de refrigeración			
R - 101 A/B/C/D	470,2	4	1880,8
Agua de proceso			
agua necesaria	498,74	-	498,74
Total (kg/h)			2.379,54

Tabla 74. Necesidades de agua en el proceso de extracción con agua.

	Extracción con H ₂ O		
	Flujo (kg/h)	Nº equipos	Total (kg/h)
Agua de refrigeración			
R - 101 A/B/C/D	253,5	4	1014,0
W - 101	12753	1	12753
Agua de proceso			
agua necesaria	487,5	-	487,5
Agua recirculada			
agua recirculada	354,38	-	354,38
Total (kg/h)			14.608,9

En la Tabla que se muestra a continuación, se indica el agua neta consumida por unidad de masa de producto.

Tabla 75. Agua consumida por kg de fertilizante producido y kg de MB usado.

	Agua consumida (kg/kg)	
	kg agua / kg de fertilizante producido	kg agua / kg de MB usado
KOH	5,64	7,93
H ₂ O	353	46,34

En las Figuras 28 a) y b) se muestran la cantidad de agua necesaria por kg de fertilizante producido y por kg de MB usado.

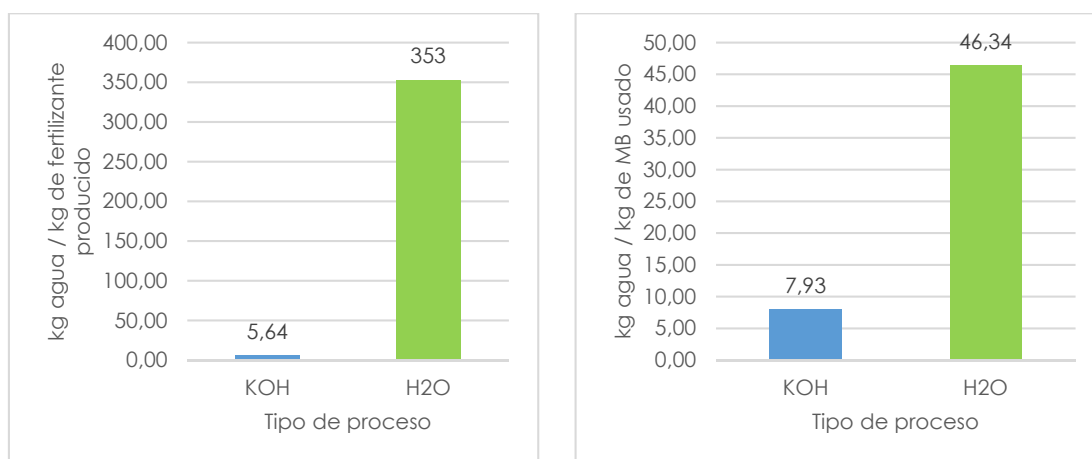


Figura 28. a) Agua necesaria por kg de fertilizante producido por tipo de proceso. b) Agua necesaria por cada kg de MB usado por tipo de proceso.

En el proceso de extracción con agua es necesario mayor cantidad de agua, tanto por kg de fertilizante producido como por kg de MB usado.

5.3.1.5 Superficie ocupada

Se ha estimado que son necesarios 1415 m² de superficie para el proceso de extracción con disolución de KOH y 1547 m² para el proceso de extracción con agua.

En la Tabla 76 y Figuras 29 a) y b) se muestra la superficie necesaria por kg de fertilizante producido y por kg de MB usado.

Tabla 76. Ocupación del suelo por kg de fertilizante producido y por kg de MB usado.

	Ocupación del suelo		
	Superficie (m ²)	Superficie por kg de fertilizante producido (m ² ·h/kg)	Superficie por kg de MB usado (m ² ·h/kg)
KOH	1415	3,35	4,72
H ₂ O	1547	39,28	5,16

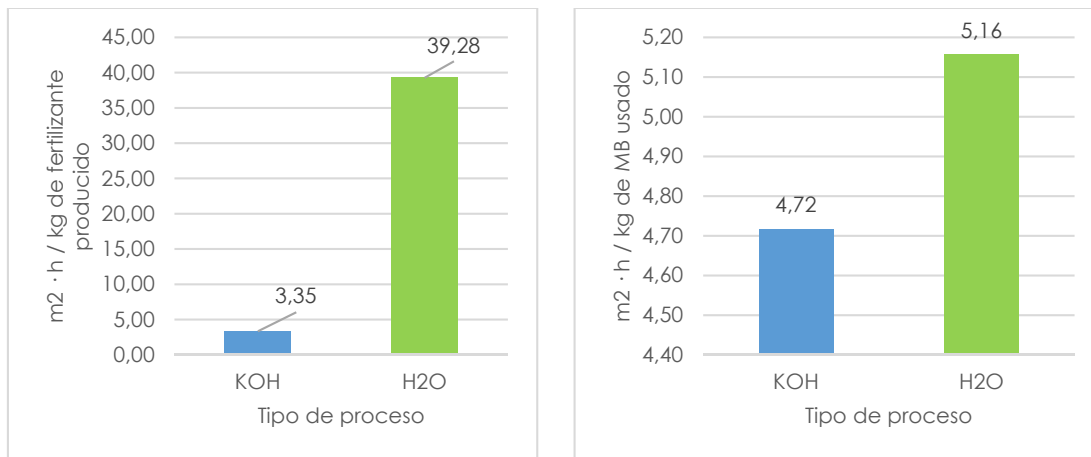


Figura 29. a) Superficie necesaria por kg de fertilizante producido por tipo de proceso. b) Superficie necesaria por cada kg de MB usado por tipo de proceso.

A la vista de los resultados se puede observar que es necesaria una mayor superficie por kg de fertilizante producido en el proceso de extracción con agua.

5.3.2 Indicadores Económicos

5.3.2.1 Costes de los equipos (€).

En la Tabla 77 y Figura 30 se indican a modo de resumen los costes de los equipos para cada uno de los procesos de extracción.

Tabla 77. Costes de los equipos (€).

	Coste de los equipos (€)
KOH	346.414
H ₂ O	262.016

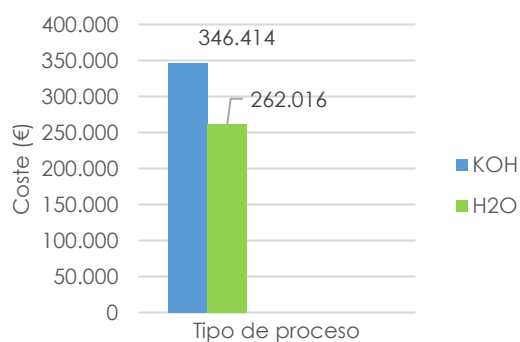


Figura 30. Costes de los equipos por tipo de proceso.

Los costes de los equipos son más elevados en el proceso de extracción con disolución de KOH.

5.3.2.2 Coste de las materias primas (€).

En la Tabla 78 y Figura 31 se indican los costes de las materias primas para cada uno de los procesos de extracción.

Tabla 78. Costes de las materias primas (€).

	Coste de las materias primas (€)
KOH	517.493
H ₂ O	33.610

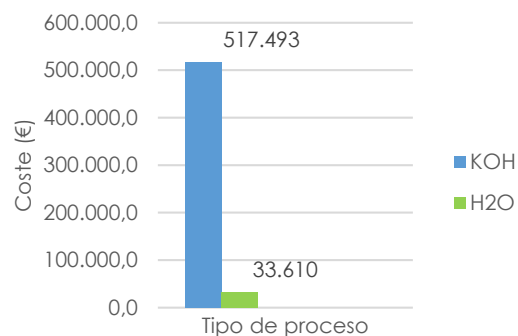


Figura 31. Costes de las materias primas por tipo de proceso.

El coste de las materias primas se encarece en la tecnología de extracción con disolución de KOH, ya que es necesario a parte del material bioestabilizado, KOH y H₂SO₄.

5.3.2.3 Coste total de inversión (€).

En la Tabla 79 y Figura 32 se indican los costes totales de inversión para cada uno de los procesos de extracción.

Tabla 79. Coste total de la inversión (€).

	Coste total de inversión (€)
KOH	1.604.070
H ₂ O	1.213.267

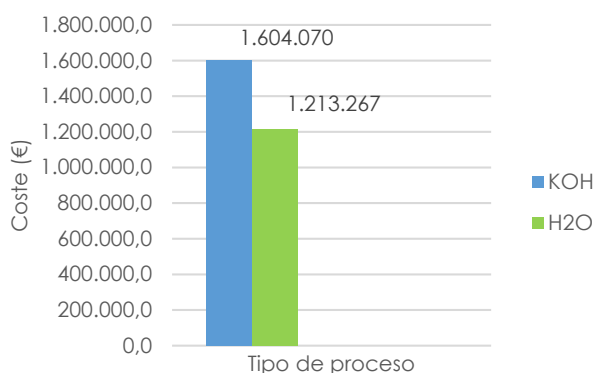


Figura 32. Coste total de la inversión por tipo de proceso.

El coste total de inversión es mayor en la tecnología de extracción con disolución de KOH.

5.3.2.4 Coste anual de producción (€).

En la Tabla 80 y Figura 33 se indican los costes totales de inversión para cada uno de los procesos de extracción.

Tabla 80. Coste anual de producción (€).

	Coste anual de producción (€)
KOH	1.931.682
H ₂ O	947.824

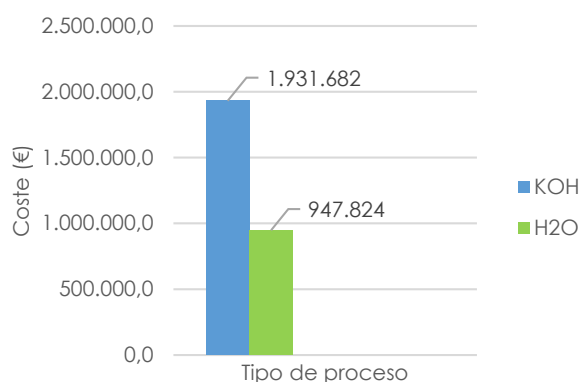


Figura 33. Coste anual de producción por tipo de proceso.

El coste anual de producción es mayor en la tecnología de extracción con disolución de KOH.

5.3.2.5 Coste de producción del fertilizante (€/L).

En la Tabla 81 y Figura 34 se indican los costes de producción de fertilizante para cada uno de los procesos de extracción.

Tabla 81. Coste de producción del fertilizante (€/L).

	Coste de producción del fertilizante (€/L)
KOH	0,655
H ₂ O	2,150

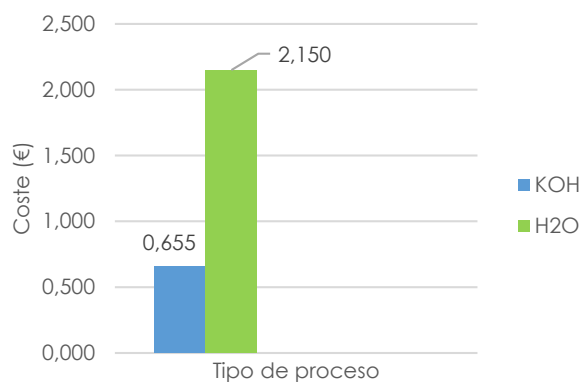


Figura 34. Coste de producción del fertilizante.

El coste de producción de fertilizante es mucho mayor en la tecnología de extracción con H₂O.

6 CONCLUSIONES

El presente TFM ha presentado un análisis comparativo, ambiental y económico, de dos tecnologías de recuperación de nutrientes a partir de material bioestabilizado basadas en extracción con una disolución alcalina y con agua, para obtener fertilizantes líquidos que cumplan con la normativa europea en vigor. Para ello, se ha utilizado como guía, los parámetros de sostenibilidad propuestos por el ICHEME.

A partir de la información presentada en el TFM se pueden extraer las siguientes conclusiones.

- Se ha realizado una **revisión bibliográfica** de la normativa vigente en relación a los residuos domésticos y los modelos de gestión.
A partir de la revisión bibliográfica se observa que el modelo de gestión de residuos que prevalece en España y Castilla y León es la recogida no selectiva y que, como consecuencia de este modelo de gestión se genera un material bioestabilizado con una composición importante en nutrientes, pero con uso agrícola restringido. Es por ello que es importante plantear alternativas de valorización de este residuo
- En cuanto a los datos experimentales disponibles relativos a concentración y recuperación de nutrientes en extractos obtenidos a partir de material bioestabilizado usando KOH y agua como solventes, se establece:
 - Extracción con disolución de KOH:
 - Las condiciones de operación óptimas establecidas son: relación sólido-líquido 1/2,5, afino de compost sin tamizar y KOH (1M) como solvente durante 48 h, a 45°C. En estas condiciones se obtuvo un extracto líquido (6,9% COT y 8,3% K₂O) que cumple con el Reglamento para fertilizantes líquidos.
 - Extracción con agua:
 - Al utilizar solamente agua como solvente, el extracto no alcanza las concentraciones mínimas exigidas para ser considerado fertilizante líquido. En este caso, es necesario aumentar la concentración de nutrientes mediante una concentración del extracto 1/10 con el fin de alcanzar los valores mínimos marcados por el Reglamento. En estas condiciones se obtuvo un extracto líquido (17,8% COT, 2,1% NT, 1,2% NO y 4,2% K₂O) que cumple con el Reglamento para fertilizantes líquidos.
- En relación al proceso de recuperación de nutrientes mediante extracción se ha considerado una planta con una capacidad de tratamiento de 200 t/mes de material bioestabilizado, que opera 8.000 h/a y tiene una vida útil de 20 años. En ambos procesos se utilizan 300 kg/h de material bioestabilizado, que es un material reciclado dentro de las propias instalaciones.
En el caso de extracción con disolución de KOH se obtienen 421,95 kg/h de fertilizante, mientras que el caso de extracción con agua se obtienen 39,38 kg/h. En ambos casos se obtiene un fertilizante órgano-mineral líquido que cumple con la normativa vigente.
 - Extracción con disolución de KOH: cumple con COT y K₂O.
 - Extracción con agua: cumple con COT, NT, NO y K₂O.

- En base a la aplicación de los **indicadores propuestos por el IChemE** desde el punto de vista ambiental, económico y social, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- **INDICADORES AMBIENTALES:**

- **ENERGÍA:**

EXTRACCIÓN CON KOH: $2,06 \cdot 10^6$ kW · h/a.

EXTRACCIÓN CON AGUA: $2,7 \cdot 10^6$ kW · h/a.

Expresando los resultados por cantidad de fertilizante producido:

EXTRACCIÓN CON KOH: 0,61 kW · h/kg de fertilizante producido.

EXTRACCIÓN CON AGUA: 8,62 kW · h/kg de fertilizante producido.

La energía necesaria por kg de fertilizante es superior en el proceso de extracción con agua.

- **MATERIAS PRIMAS:** en ambos procesos se emplean 300 kg/h de MB. En el caso de extracción con disolución de KOH se utilizan, además, 63,76 kg/h de KOH 50% y 12,45 kg/h de H₂SO₄ 96%, que son compuestos peligrosos para la salud, seguridad y medio ambiente.

Expresando los resultados por cantidad de fertilizante producido:

EXTRACCIÓN CON KOH: 0,71 kg MB/kg de fertilizante producido.

EXTRACCIÓN CON AGUA: 7,6 kg MB/kg de fertilizante producido.

La cantidad necesaria de MB por kg de fertilizante obtenido es muy superior en el proceso de extracción con agua. Sin embargo, la extracción con agua no necesita la utilización de materias primas peligrosas en el proceso (KOH y H₂SO₄).

- **RESIDUOS SÓLIDOS:**

EXTRACCIÓN CON KOH: 378 kg/h.

EXTRACCIÓN CON AGUA: 393,75 kg/h.

En ambos procesos se obtiene un sólido agotado como residuo que puede ser utilizado para valorización energética.

Expresando los resultados por cantidad de fertilizante producido:

EXTRACCIÓN CON KOH: 0,9 kg/kg de fertilizante producido.

EXTRACCIÓN CON AGUA: 10 kg/kg de fertilizante producido.

- **AGUA:** en ambos procesos se utiliza agua de refrigeración y de proceso. en el caso del proceso de extracción con agua es necesario, además, agua de recirculación procedente de la etapa de concentración de nutrientes.

EXTRACCIÓN CON KOH: 2.379,5 kg/h.

EXTRACCIÓN CON AGUA: 14.608,9 kg/h.

Expresando los resultados por cantidad de fertilizante producido:

EXTRACCIÓN CON KOH: 5,64 kg/kg de fertilizante producido.

EXTRACCIÓN CON AGUA: 353 kg/kg de fertilizante producido.

○ **INDICADORES ECONÓMICOS:**

- **COSTE DE LOS EQUIPOS:**
EXTRACCIÓN CON KOH: 346.414 €
EXTRACCIÓN CON AGUA: 262.016 €
- **COSTE DE LAS MATERIAS PRIMAS:**
EXTRACCIÓN CON KOH: 517.493 €
EXTRACCIÓN CON AGUA: 33.610 €

El coste de las materias primas se encarece en la tecnología de extracción con disolución de KOH, ya que además del material bioestabilizado, es necesario KOH 50% y H₂SO₄ 96%.

- **COSTE TOTAL DE INVERSIÓN:**
EXTRACCIÓN CON KOH: 1.640.070 €.
EXTRACCIÓN CON AGUA: 1.213.267 €.
- **COSTE ANUAL DE PRODUCCIÓN:**
EXTRACCIÓN CON KOH: 1.931.682 €.
EXTRACCIÓN CON AGUA: 947.824 €.
- **PRECIO DE PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTE:**
EXTRACCIÓN CON KOH: 0,655 €/L.
EXTRACCIÓN CON AGUA: 2,15 €/L.

Los costes de equipos, materias primas, inversión y producción anual son superiores en el proceso de extracción con disolución de KOH. Sin embargo, el precio de producción de fertilizante es menor.

○ **INDICADORES SOCIALES:**

Estos indicadores no se han cuantificado al no contar con datos disponibles para su evaluación.

7 BIBLIOGRAFÍA

Las referencias bibliográficas siguen las pautas establecidas por la ISO 690-2 y por la ISO 690-1987 (UNE-50-104-94).

1. LIBROS Y MANUALES

- Coulson&Richardson's. *Chemical Engineering Design. Volume 6*, 4ª ed. Oxford: Editorial Elsevier, 2005.

2. LEGISLACIÓN Y NORMATIVA RECOMENDADA

- Decálogo para la utilización del material estabilizado y del compost no inscrito en el registro de productos fertilizantes mediante la operación R10 (25/06/2013). [en línea]. [citado 14 agosto 2019]. Disponible en World Wide Web: <https://cabildo.grancanaria.com/documents/10180/6356570/DECALOGO+MAGRAMA+JUN+2013.pdf/f8f36f4f-869b-4ad3-bcb7-da272db565fb>
- Decreto 11/2014, de 20 de marzo, por el que se aprueba el Plan Regional de Ámbito Sectorial denominado "Plan Integral de Residuos de Castilla y León". («BOCyL» de 24 de marzo de 2014).
- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. («BOE» de 22 de noviembre de 2008).
- Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases. («BOE» de 25 de abril de 1997).
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. («BOE» de 29 de julio de 2011).
- Real Decreto 1039/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo. («BOE» de 28 de julio de 2012).
- Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. («BOE» de 10 de julio de 2013).
También se ha consultad su version anterior (disposición derogada):
 - Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. («BOE» de 19 de julio de 2005).
- Reglamento (CE) nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) nº 1907/2006. («DOUE» de 31 de diciembre de 2008).
- Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE y se modifican los Reglamentos (CE) nº 1069/2009 y (CE) nº 1107/2009 y se deroga el Reglamento (CE) nº 2003/2003. («DOUE» de 25 de junio de 2019).

- Resolución de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015. («BOE» de 26 de febrero de 2009).

3. ARTÍCULOS, REVISTAS Y PÁGINAS WEB

- Caballero Álvarez, et al. Guía técnica “La gestión de residuos municipales” (2015). FEMP y Ecoembes. [en línea]. [citado 2 agosto 2019]. Disponible en World Wide Web: http://ayto-fuenlabrada.es/recursos/doc/SC/Medio_ambiente/47309_2652652016141950.pdf
- Damjan Kranjc, P.G., How to compare companies on relevant dimensions of sustainability. Rev. Elseiver. 55 (2005) 551– 563. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.12.011>
- Estrada, J.M, Bart Kraakman, N.J.R, Lebrero, R., Muñoz, R., A comparative analysis of odour treatment technologies in wastewater treatment plants. 45 (2011) 1100-1106. <https://doi.org/10.1021/es103478j>
- FDS H₂SO₄ 96%. [en línea]. [citado 23 agosto 2019]. Disponible en World Wide Web: https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/4/SDB_4363_MX_ES.pdf
- FDS KOH. [en línea]. [citado 23 agosto 2019]. Disponible en World Wide Web: https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/7/SDB_7986_ES_ES.pdf
- Fundación CONAMA (2016). El desafío de la gestión de la materia orgánica. [en línea]. [citado 7 agosto 2019]. Disponible en World Wide Web: http://www.conama.org/conama/download/files/conama2016/GTs%202016/15_final.pdf
- Fundación para la Economía Circular. [en línea]. [citado 8 agosto 2019]. Disponible en World Wide Web: https://economiecircular.org/wp/?page_id=62
- Guía práctica para el diseño y la explotación de Plantas de Compostaje. [en línea]. [citado 15 junio 2019]. Disponible en World Wide Web: http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/form/GuiaPC_web_ES.pdf
- Herramientas para medir la sostenibilidad corporativa. Un análisis comparativo de las memorias de sostenibilidad. [en línea]. [citado 15 agosto 2019]. Disponible en World Wide Web: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13644/PFM_Agustin_Paternoster.pdf
- IChemE. The sustainability metrics. Sustainable Development Progress Metrics recommended for use in the process industries. [en línea]. [citado 21 marzo 2019]. Disponible en World Wide Web: http://nbis.org/nbisresources/metrics/triple_bottom_line_indicators_process_industries.pdf

- Indicadores para la medida del grado de desarrollo sostenible de una organización. [en línea]. [citado 3 mayo 2019]. Disponible en World Wide Web: ftp://ftp.eresmas.net/FC198_Vilchez.pdf
- Instituto Nacional de Estadística (INE). [en línea]. [citado 24 mayo 2019]. Disponible en World Wide Web: <https://www.ine.es/>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). [en línea]. [citado 2 agosto 2019]. Disponible en World Wide Web: <https://www.argentina.gob.ar/inta>
- Junta de Castilla y León (JCyL). [en línea]. [citado 3 junio 2019]. Disponible en World Wide Web: <https://www.jcyl.es/>
- Límites de exposición profesional para agentes químicos en España 2018. [en línea]. [citado 25 agosto 2019]. Disponible en World Wide Web: <https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/LEP%20 VALORES%20LIMITE/Valores%20limite/Limites2018/Limites2018.pdf>
- MAGRAMA. "Gestión de biorresiduos de competencia municipal". [en línea]. [citado 5 junio 2019]. Disponible en World Wide Web: http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2013/12/GUIA_biorresiduos.pdf
- Ministerio para la transición ecológica. [en línea]. [citado 5 abril 2019]. Disponible en World Wide Web: <https://www.miteco.gob.es>
 - Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) (2016-2022). [en línea]. [citado 29 abril 2019]. Disponible en World Wide Web: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/pemaraprobado6noviembrecondae_tcm30-170428.pdf
 - Programa Estatal de Prevención de Residuos (2014-2020). [en línea]. [citado 12 junio 2019]. Disponible en World Wide Web: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/Programa%20de%20prevencion%20aprobado%20actualizado%20ANFABRA%2011%2002%202014_tcm30-192127.pdf
 - Plan Integral de Residuos de Castilla y León (PIRCyL). [en línea]. [citado 2 mayo 2019]. Disponible en World Wide Web: <http://medioambiente.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100/1284312829695/ / />
- Oficina Europea de Estadística (Eurostat). [en línea]. [citado 20 mayo 2019]. Disponible en World Wide Web: <https://ec.europa.eu/eurostat>
- ONU Medio Ambiente (UNEP). [en línea]. [citado 2 agosto 2019]. Disponible en World Wide Web: <https://www.unenvironment.org/es>
- Revista Ambientum.
 - El impacto ambiental de la gestión de residuos municipales. [en línea]. [citado 14 junio 2019]. Disponible en World Wide Web: <https://www.ambientum.com/ambientum/residuos/impacto-ambiental-residuos-municipales.asp>

- España, líder de la UE acumulando residuos en vertederos. [en línea]. [citado 16 junio 2019]. Disponible en World Wide Web: <https://www.ambientum.com/ambientum/residuos/espana-acumulacion-residuos-vertederos.asp>
- Selección de indicadores y control del grado de sostenibilidad de una industria de procesos. [en línea]. [citado 3 mayo 2019]. Disponible en World Wide Web: ftp://ftp.eresmas.net/FC198_Vilchez.pdf
- Toledo-Cervantes, A., Estrada, J.M., Lebrero, R., Muñoz R., A comparative analysis of biogas upgrading technologies: Photosynthetic vs physical/chemical processes. Rev. Elseiver. Algal Research. 25 (2017) 237-243. <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2017.05.006>

4. **OTROS DOCUMENTOS**

- Benito Martín, Cristina., "*Dimensionado de una instalación de recuperación de nutrientes de interés agronómico a partir de material bioestabilizado*". Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Química. Universidad de Valladolid, 2018.
- Del Amo Mateos, Esther., "*Producción de biochar a partir de material bioestabilizado*". Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Química. Universidad de Valladolid, 2018.
- Pastor Gutiérrez, Sandra., "*Valorización de material bioestabilizado mediante la recuperación de nutrientes de interés agronómico*". Trabajo Fin de Máster en Ingeniería Ambiental. Universidad de Valladolid, 2018.

NOTA: Todas las referencias bibliográficas aquí descritas son las que se han utilizado para la elaboración de este TFM. La bibliografía que no está insertada en el texto es debido a que solo se ha utilizado como consulta, no como aportación directa.

ANEXO I. REGLAMENTO UE 2019/1009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE. Anexo I.

Abono o fertilizante: Un abono o fertilizante será un producto fertilizante con el marcado CE cuya finalidad sea proporcionar nutrientes a los vegetales.

Abono orgánico

- Un abono orgánico deberá contener: carbono (C) y nutrientes exclusivamente de origen biológico, excluido el material fosilizado o embutido en formaciones geológicas.
- En el producto fertilizante con el marcado CE no estarán presentes contaminantes en cantidades que superen las siguientes:
 - cadmio (Cd): 1,5 mg/kg de materia seca,
 - cromo hexavalente (Cr VI): 2 mg/kg de materia seca,
 - mercurio (Hg): 1 mg/kg de materia seca,
 - níquel (Ni): 50 mg/kg de materia seca,
 - plomo (Pb): 120 mg/kg de materia seca,
 - biuret (C₂H₅N₃O₂): 12 g/kg de materia seca.
- No habrá Salmonella spp. en una muestra de 25 g del producto fertilizante con el marcado CE.
- Ninguno de los dos tipos siguientes de bacterias estará presente en el producto fertilizante con el marcado CE en una concentración superior a 1 000 UFC/g de masa fresca:
 - a) Escherichia coli;
 - b) enterococos.Esto deberá demostrarse midiendo la presencia de al menos uno de estos dos tipos de bacterias.

Abono orgánico líquido

- Un abono orgánico líquido contendrá menos del 40 % de materia seca.
- El producto fertilizante con el marcado CE contendrá al menos uno de los siguientes nutrientes declarados en las cantidades mínimas indicadas:
 - 2 % en masa de nitrógeno (N) total.
 - 1 % en masa de pentóxido de fósforo (P₂O₅) total o
 - 2 % en masa de óxido de potasio (K₂O) total.
- El carbono (C) orgánico estará presente en el producto fertilizante con el marcado CE al menos en un 5 % en masa.

Abono órgano-mineral

- Un abono órgano-mineral será una coformulación de:
 - uno o varios abonos inorgánicos como los especificados en el punto CFP 1 (C)⁴ y
 - un material que contenga carbono (C) orgánico y nutrientes únicamente de origen biológico, excluido el material fosilizado o embutido en formaciones geológicas.
- Si algún abono inorgánico de la coformulación es un abono inorgánico sólido simple o compuesto con macronutrientes a base de nitrato amónico con alto contenido de nitrógeno, como se especifica en la CFP 1 (C) (I) (a) (i-ii) (A)⁵, el producto fertilizante con el marcado CE contendrá menos del 15,75 % en masa de nitrógeno (N) procedente del nitrato amónico (NH₄NO₃).
- En el producto fertilizante con el marcado CE no estarán presentes contaminantes en cantidades que superen las siguientes:
 - a) cadmio (Cd):
 - si el producto fertilizante con el marcado CE tiene un contenido de fósforo (P) total inferior al 5 % de equivalente de pentóxido de fósforo (P₂O₅) en masa: 3 mg/kg de materia seca, o
 - si el producto fertilizante con el marcado CE tiene un contenido de fósforo (P) total del 5 % o más de equivalente de pentóxido de fósforo (P₂O₅) en masa (abono fosfatado):
 - a partir del [Publications Office, please insert the date of application of this Regulation]: 60 mg/kg de pentóxido de fósforo (P₂O₅),
 - a partir del [Publications Office, please insert the date occurring three years after the date of application of this Regulation]: 40 mg/kg de pentóxido de fósforo (P₂O₅) y
 - a partir del [Publications Office, please insert the date occurring twelve years after the date of application of this Regulation]: 20 mg/kg de pentóxido de fósforo (P₂O₅);
 - b) cromo hexavalente (Cr VI): 2 mg/kg de materia seca;
 - c) mercurio (Hg): 1 mg/kg de materia seca;
 - d) níquel (Ni): 50 mg/kg de materia seca;
 - e) plomo (Pb): 120 mg/kg de materia seca.
- No habrá *Salmonella* spp. en una muestra de 25 g del producto fertilizante con el marcado CE.
- Ninguno de los dos tipos siguientes de bacterias estará presente en el producto fertilizante con el marcado CE en una concentración superior a 1 000 UFC/g de masa fresca:
 - a) *Escherichia coli*;
 - b) enterococos.Esto deberá demostrarse midiendo la presencia de al menos uno de estos dos tipos de bacterias.

⁴ Para más datos consultar el Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen disposiciones relativas a la comercialización de los productos fertilizantes con el marcado CE y se modifican los Reglamentos (CE) n.º 1069/2009 y (CE) n.º 1107/2009.

⁵ Para más datos consultar el Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen disposiciones relativas a la comercialización de los productos fertilizantes con el marcado CE y se modifican los Reglamentos (CE) n.º 1069/2009 y (CE) n.º 1107/2009.

Abono órgano-mineral líquido

- Un abono órgano-mineral líquido contendrá menos del 60 % de materia seca en masa.
- El producto fertilizante con el marcado CE contendrá al menos uno de los siguientes nutrientes declarados en las cantidades mínimas indicadas:
 - 2 % en masa de nitrógeno (N) total, siendo el 0,5 % en masa del producto fertilizante con el marcado CE nitrógeno (N) orgánico,
 - 2 % en masa de pentóxido de fósforo (P₂O₅) total o
 - 2 % en masa de óxido de potasio (K₂O) total.
- El carbono (C) orgánico estará presente en el producto fertilizante con el marcado CE al menos en un 3 % en masa.

ANEXO II: Resumen del dimensionamiento de los equipos.

Proceso con KOH

- **Tanque de preparación disolución KOH: R – 101.**

V (m ³)	0,15
THR (h)	0,25
H/D	1,5
H	0,8
D	0,5
Velocidad agitación (rpm)	25
Número agitadores	5
Potencia (W)	148

- **Tanque de extracción: R – 102 A/B/C/D.**

V (m ³)	5
THR (h)	16
H/D	1,5
H	2,7
D	1,5
Velocidad agitación (rpm)	450
Número agitadores	5
Potencia (kW)	48

- **Tanque pulmón: B – 101 A/B.**

V (m ³)	5
THR (h)	8
H/D	1,5
H	2,7
D	1,5

- **Centrífuga: S-101.**

Modelo: GF125 tubular centrífuga tazón. Marca: Hj	
Voltaje (V)	380
Energía (W)	220
L x W x H (mm)	600 x 1000 x 1600
D tambor (mm)	125
v máx (rpm)	17500
Factor G	21000
Q máx (m ³ /h)	2,2

- **Tanque de ajuste de pH: R – 103.**

V (m ³)	0,13
THR (h)	0,25
H/D	1,5
H	0,8
D	0,4
Velocidad agitación (rpm)	386
Número agitadores	5
Potencia (W)	25

Proceso con H₂O

- **Tanque de extracción: R – 101 A/B/C/D.**

V (m ³)	2,4
8	12
H/D	1,5
H	2,1
D	1,2
Velocidad agitación (rpm)	151
Número agitadores	4
Potencia (kW)	4,76

- **Evaporador parcial: D-101.**

Evaporador película ascendente: Fixed and U tube	
<i>Tubos</i>	
Fluido	Fluido del proceso (x = 0,9)
Número de tubos	28
Longitud (m)	6,1
Diámetro exterior (mm)	16
Espesor (mm)	1,6
Distribución	Triangular
Coefficiente de transferencia de calor (W/(m ² ·°C))	2340
<i>Carcasa</i>	
Fluido	Vapor baja presión
Diámetro interior (mm)	148
Coefficiente de transferencia de calor (W/(m ² ·°C))	602

- **Condensador total: W – 101.**

Pull-through floating head: 1 paso por carcasa – 2 pasos por tubos	
<i>Tubos</i>	
Fluido	Agua de refrigeración
Número de tubos	15
Longitud (m)	3,66
Diámetro exterior (mm)	25
Espesor (mm)	2,6
Distribución	Triangular
Coefficiente de transferencia de calor (W/(m ² ·°C))	8421
<i>Carcasa</i>	
Fluido	Vapor del proceso
Diámetro interior (mm)	334
Coefficiente de transferencia de calor (W/(m ² ·°C))	13357

- **Centrifuga: S – 101.**

Modelo: GF125 tubular centrifuga tazón. Marca: Hj	
Voltaje (V)	380
Energía (W)	220
L x W x H (mm)	600 x 1000 x 1600
D tambor (mm)	125
v máx (rpm)	17500
Factor G	21000
Q máx (m ³ /h)	2,2

- **Tanque pulmón: B – 101 A/B.**

V (m ³)	2,4
THR (h)	4
H/D	1,5
H	2,1
D	1,2

ANEXO III. Tabla de corrientes de los procesos.

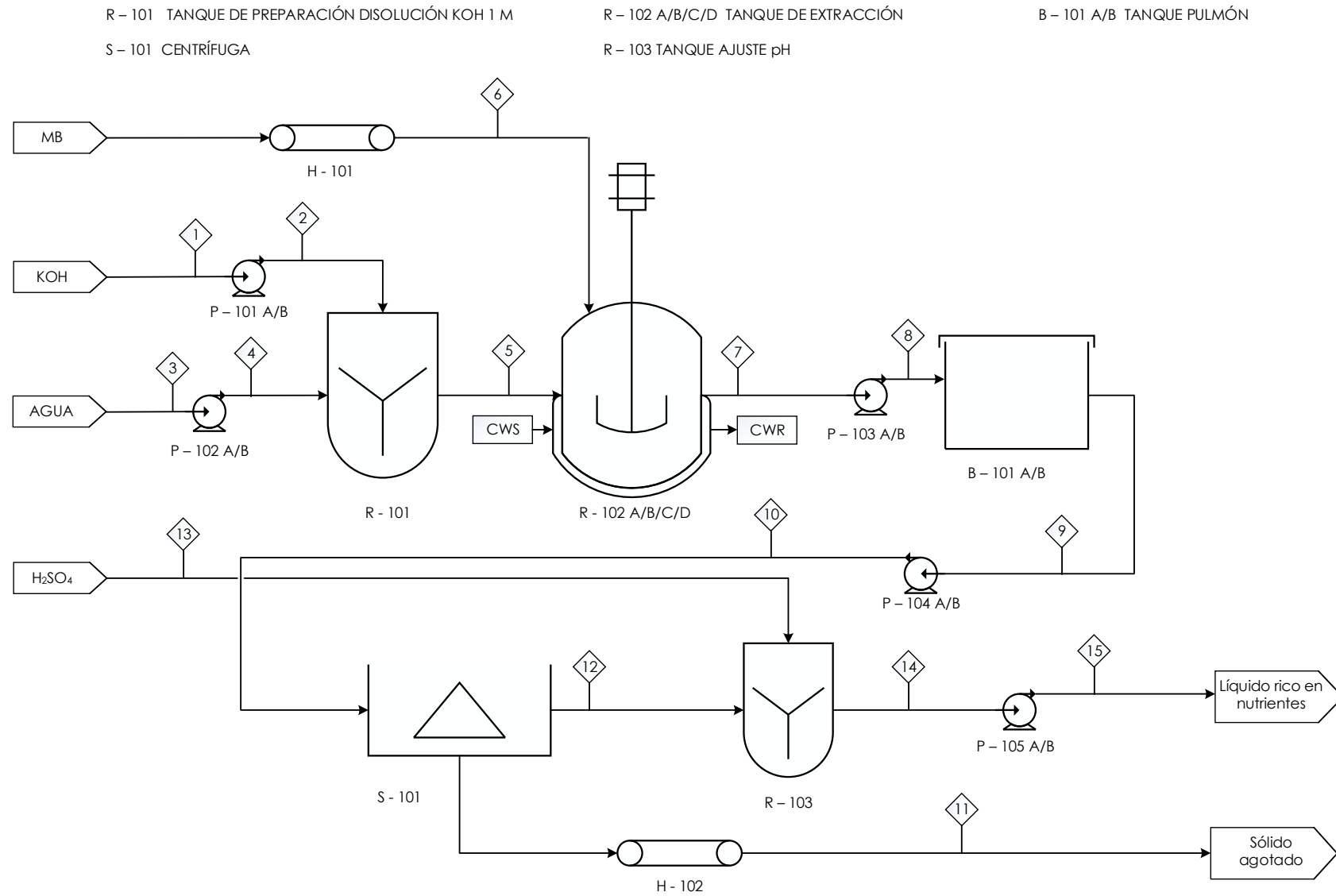
Tabla 29. Tabla de corrientes del proceso utilizando KOH como disolvente.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Temperatura	°C	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	45,0	45,0	40,0	40,0	30,0	25,0	25,0	30,0	30,0
MB	kg/h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	225,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
KOH 50 %	kg/h	63,76	63,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
KOH 5,67 %	kg/h	0,00	0,00	0,00	0,00	487,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	kg/h	0,00	0,00	423,74	423,74	0,00	75,00	0,00	0,00	0,00	0,00	94,50	0,00	0,00	0,00	0,00
Extracto líquido	kg/h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	562,50	562,50	562,50	562,50	0,00	378,00	0,00	421,95	421,95
Sólido agotado	kg/h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	225,00	225,00	225,00	225,00	283,50	31,50	0,00	31,50	31,50
H ₂ SO ₄ 96%	kg/h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,45	0,00	0,00
TOTAL	kg/h	63,76	63,76	423,74	423,74	487,50	75,00	787,50	787,50	787,50	787,50	378,00	409,50	12,45	453,45	453,45

Tabla 30. Tabla de corrientes del proceso utilizando H₂O como disolvente.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Temperatura	°C	25,0	25,0	25,0	79,4	45,0	45,0	40,0	40,0	30,0	30,0	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6
Agua	kg/h	75,00	133,13	133,13	487,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	354,38	354,38	354,38
Extracto líquido	kg/h	0,00	0,00	0,00	0,00	562,50	562,50	562,50	562,50	0,00	378,00	39,38	39,38	0,00	0,00	0,00
MB	kg/h	225,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sólido agotado	kg/h	0,00	0,00	0,00	0,00	225,00	225,00	225,00	225,00	393,75	15,75	15,75	15,75	0,00	0,00	0,00
TOTAL	kg/h	300,00	133,13	133,13	487,50	787,50	787,50	787,50	787,50	393,75	393,75	55,13	55,13	354,38	354,38	354,38

ANEXO IV. Diagrama de flujo: extracción con disolución de KOH.



MB: Material bioestabilizado;

CWS: Cooling Water Service;

CWR: Cooling Water Return

ANEXO V. Diagrama de flujo: extracción con agua.

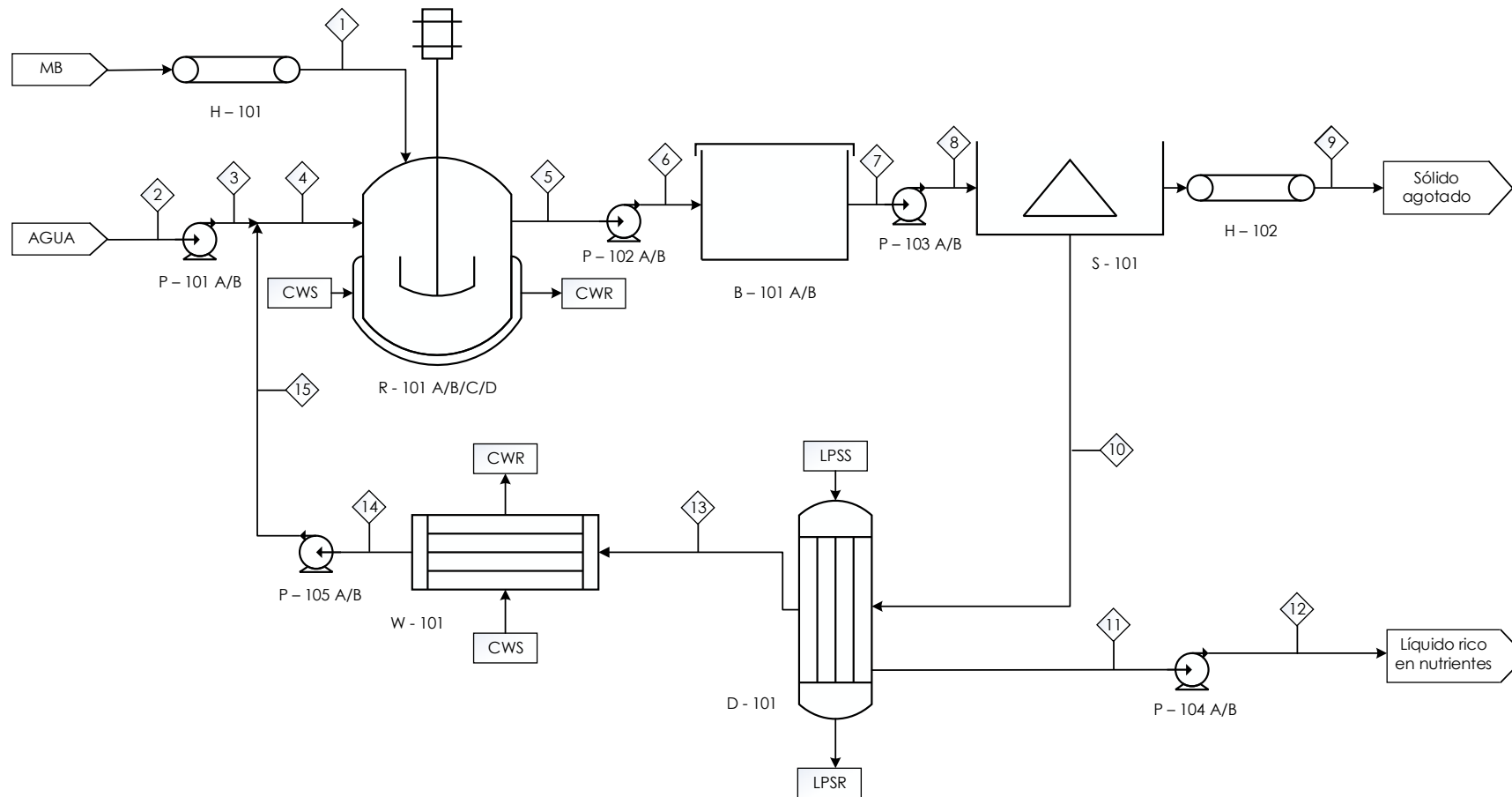
R - 101 A/B/C/D TANQUE DE EXTRACCIÓN

B - 101 A/B TANQUE PUMÓN

S - 101 CENTRÍFUGA

W - 101 CONDENSADOR TOTAL

D - 101 EVAPORADOR PARCIAL



MB: Material Bioestabilizado;
LPSS: Low Pressure Steam Service;

CWS: Cooling Water Service;
LPSR: Low Pressure Steam Return

CWR: Cooling Water Return;